

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

GABRIELA BRANQUINHO ANTONIO

**Aplicabilidade de medidas de controle do escoamento superficial:
Distribuição espacial na bacia hidrográfica do Rio Reginaldo, Maceió-AL**

Maceió

2017

GABRIELA BRANQUINHO ANTONIO

**Aplicabilidade de medidas de controle do escoamento superficial:
Distribuição espacial na bacia hidrográfica do Rio Reginaldo, 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.

Orientador: Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira
Passos das Neves

Maceió

2017

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

A553p Antonio, Gabriela Branquinho.
Aplicabilidade de medidas de controle do escoamento superficial:
distribuição espacial na bacia hidrográfica do rio Reginaldo, Maceió-AL /
Gabriela Branquinho Antonio. – 2017.

102 f. : il.

Orientador: Marllus Gustavo Ferreira Passos dos Neves.
Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) –
Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de
Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Maceió, 2017.

Bibliografia: f. 96-102.

1. Bacia hidrográfica – Maceió (AL). 2. Rio Reginaldo (AL).. I. Título.

CDU: 556.51(813.5)

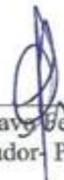
FOLHA DE APROVAÇÃO

GABRIELA BRANQUINHO ANTONIO

APLICABILIDADE DE MEDIDAS DE CONTROLE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL:
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO REGINALDO,
MACEIÓ-AL

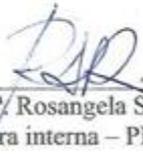
Dissertação apresentada ao Programa de Pós -
Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento,
Centro de Tecnologia da Universidade Federal de
Alagoas, como requisito para obtenção do título
de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Data: 10/03/2017

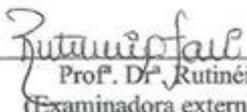


Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves
(Orientador - PPGRHS)

Banca examinadora:



Prof. Dr. Rosângela Sampaio Reis
(Examinadora interna - PPGRHS-UFAL)



Prof. Dr. Rutinéia Tassi
(Examinadora externa - UFSM)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente eu agradeço a Deus, pela oportunidade e condições que tive para estar cursando o mestrado. Agradeço a minha família pela paciência que tiveram comigo devido a minha ausência.

Agradeço aos amigos antigos, que se mantiveram amigos mesmo com a distância e as amigas novas, Jessica, Patrícia, Eunice, pela amizade e companheirismo nessa minha jornada, fizeram de uma república um lar, o qual sempre lembrarei e sentirei saudades.

Agradeço também ao Bruno, que se manteve amigo, companheiro e paciente nos momentos mais difíceis que tive durante o curso, a todo tempo me apoiando e incentivando, fazendo com que eu sempre fosse adiante.

Agradeço a todo o corpo docente do curso, em especial, ao professor e orientador Marllus, por ter me dado a oportunidade de ser sua orientanda, contribuindo para que eu tivesse uma nova concepção da drenagem urbana.

Agradeço aos colegas de turma pela receptividade. Agradeço também ao professor Geraldo, da faculdade de arquitetura e urbanismo, que contribuiu significativamente para a conclusão desse trabalho através do material disponibilizado.

Agradeço a CAPES, pela concessão da bolsa, a qual foi fundamental para dar permanência e prosseguimento ao curso.

EPÍGRAFE

“[...] o homem sábio construiu a sua casa na rocha. Caiu a chuva, vieram as enchentes, e o vento soprou com força contra aquela casa. Porém ela não caiu porque havia sido construída na rocha. [...] o homem sem juízo que construiu a sua casa na areia. Caiu a chuva, vieram as enchentes, e o vento soprou com força contra aquela casa. Ela caiu e ficou totalmente destruída”

RESUMO

A bacia do rio Reginaldo na cidade de Maceió sofre com problemas de inundações e alagamentos devido ao incremento do escoamento superficial. O incremento do escoamento superficial ocorre devido a impermeabilização do solo, que em geral tem origem na urbanização não planejada e quando associado a falta de planejamento na drenagem urbana, os problemas tendem a ser intensificados. Dentre as soluções atualmente disponíveis para a mitigação do escoamento superficial excedente e consequentemente da vazão de pico, tem-se as técnicas compensatórias e a vazão específica de restrição. As técnicas compensatórias são estruturas que visam compensar o efeito da urbanização no ciclo hidrológico; e a vazão específica de restrição é aquela que se aproxima das condições naturais da bacia ou de pré – urbanização, também é conhecida como a vazão máxima que cada lote pode liberar na galeria fluvial da cidade. O objetivo do trabalho é mapear as áreas propícias para a aplicabilidade de dispositivos de controle na fonte por infiltração (biorretenção, pavimento permeável, poço de infiltração e trincheira de infiltração) e calcular e espacializar a vazão de restrição específica pelo método racional. Para a delimitação das áreas propícias e não propícias a instalação dos dispositivos foi necessário criar uma matriz de restrição com os critério e restrições que foram previamente. As restrições foram codificadas visando representar e identificar a ocorrência das restrições no caso das áreas com restrições específicas e identificar as áreas propícias e não propícias. A matriz de restrição após ser codificada foi programada em na linguagem *python* para ser utilizada no Sistema de Informações Geográficas (SIG) ArcGIS, visando a espacialização dos resultados. O cenário utilizado para a o cálculo da vazão específica de restrição foi o ano de 1960, visando se aproximar ao máximo da vazão pré urbanização. Para o cálculo da vazão, foi utilizando uma simplificação do método cinemático (simplificação da equação de manning) e o método racional. O cálculo e a espacialização vazão específica de restrição também foram programados em linguagem *python* e operados em dentro do *software* Arcgis. A partir dos resultados obtidos foi possível verificar que mesmo no cenário atual de urbanização da bacia é possível encontrar áreas propicias para a instalação dos dispositivos propostos. O resultado do mapeamento das áreas propícias para instalação das técnicas compensatórias revelou que a declividade é um parâmetro que influenciou significativamente as escolhas das áreas, além disso, nenhum dispositivo obteve área propícia maior que 22,64 % da área da bacia. Todavia as áreas de restrições especiais podem se constituir em áreas de incentivo, ampliando as possibilidades de aplicação das técnicas. O resultado do cálculo e da espacialização da vazão de restrição identificaram que o método racional aplicado junto ao método cinemático apresentou algumas

limitações com relação ao tamanho da área de estudo. Dentre as durações usadas o melhor resultado encontrado foi para a duração igual a 4 horas.

Palavra Chave: Bacias Urbanas, Técnicas Compensatórias, Vazão específica de restrição.

ABSTRACT

The basin of the Reginaldo River in the city of Maceió suffers from flooding and flooding problems due to increased runoff. The increase in surface runoff occurs due to soil sealing, which usually originates in unplanned urbanization and when associated with lack of urban drainage planning, problems tend to be intensified. Among the solutions currently available for the mitigation of the excess surface flow and consequently of the peak flow, we have the compensatory techniques and the specific restriction flow. Compensatory techniques are structures that aim to compensate for the effect of urbanization on the hydrological cycle; And the specific flow restriction is that which approaches the natural conditions of the basin or pre-urbanization, is also known as the maximum flow that each lot can release in the city's river gallery. The objective of this work is to map the propitious areas for the applicability of control devices in the source by infiltration (biorretention, permeable pavement, infiltration well and infiltration trench) and to calculate and spatialize the specific restriction flow by the rational method. For the delimitation of the propitious areas and not propitious the installation of the devices was necessary to create a restriction matrix with the criteria and restrictions that were previously. The restrictions were codified in order to represent and identify the occurrence of restrictions in the case of areas with specific restrictions and to identify the propitious and non-propitious areas. The restriction matrix after being coded was programmed in the python language to be used in the ArcGIS Geographic Information System (GIS), aiming the spatialization of the results. The scenario used for the calculation of the specific restriction flow was the year of 1960, aiming to approach the maximum of the pre urbanization flow rate. For the calculation of the flow, it was used a simplification of the kinematic method (simplification of the manning equation) and the rational method. The calculation and spatialization constraint-specific flow were also programmed in python language and operated within the Arcgis software. From the results obtained it was possible to verify that even in the current scenario of urbanization of the basin it is possible to find suitable areas for the installation of the proposed devices. The result of the mapping of the propitious areas for the installation of the compensatory techniques revealed that the slope is a parameter that significantly influenced the choice of areas, in addition, no device obtained a propitious area greater than 22.64% of the area of the basin. However, the areas of special restrictions may be incentive areas, increasing the possibilities of applying the techniques. The result of the calculation and the spatialisation of the restriction flow identified that the rational method applied to the kinematic method presented some limitations with respect to the size of the study area. Among the durations used

the best result found was for the duration equal to 4 hours.**Key words:** Urban Basins, Compensatory Techniques, Specific restriction flow.

Key words: Urban Basins, Compensatory Techniques, Specific restriction flow.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diferenças do hidrograma pré e pós urbanização	5
Figura 2 - Transferências de impactos em uma bacia após a canalização de um rio.	5
Figura 3: Matriz de restrição do SMDU (2012)	12
Figura 4. Esquema de funcionamento da biorretenção.	14
Figura 5. Tipos de pavimentos permeáveis: a) Pavimentos com canais; b) pavimentadores porosos; c) permeável verde, com aberturas pequenas d) Pavimento permeável verde com juntas largas.	15
Figura 6. Esquema da estrutura de um poço de infiltração	17
Figura 7. Mapa de localização da Bacia do rio Reginaldo.	24
Figura 8. Mapa de solos pedológicos da bacia do rio Reginaldo.....	25
Figura 9. Mapa de grupo de solos hidrológicos da bacia do rio Reginaldo.	26
Figura 10. Mapa de Risco de Contaminação do solo por diversas Fontes poluidoras.	27
Figura 11. Mapa índice das cartas topográficas utilizadas.	28
Figura 12. Mapa de uso do solo do ano de 1960.	29
Figura 13. Mapa de uso do solo do ano de 1989.	30
Figura 14. Mapa de uso do solo do ano de 2011.	31
Figura 15. Primeiro esquema de ruas da cidade de Maceió com foco no curso retificado, em laranja, e no curso natural, em azul.	31
Figura 16. Fluxograma da metodologia utilizada.	32
Figura 17. Fonte dos dados utilizadas para a elaboração do trabalho.	33
Figura 18 – Funcionamento da Função condicional, na linguagem python, para a definição de áreas propícias, não propícias e com restrições para a instalação do poço de infiltração.	39
Figura 19. Mapa tipo 1 para biorretenção.....	47
Figura 20. Mapa tipo 2 para biorretenção.....	48
Figura 21. Mapa tipo 3 para biorretenção.....	49
Figura 22. Mapa tipo 1 para pavimento permeável.	50
Figura 23. Mapa tipo 2 para pavimento permeável.	51
Figura 24. Mapa tipo 3 para pavimento permeável	52
Figura 25. Mapa tipo 1 para poço de infiltração.....	53
Figura 26. Mapa tipo 2 para poço de infiltração.....	54
Figura 27. Mapa tipo 3 para poço de infiltração.....	55
Figura 28. Mapa tipo 1 para trincheira de infiltração.	56
Figura 29. Mapa tipo 2 para trincheira de infiltração.	57
Figura 30. Mapa tipo 3 para trincheira de infiltração	58
Figura 31. Mapa de CN da bacia do reginaldo para o ano de 1960.	59
Figura 32. Mapa com as taxas de armazenamento calculadas para o ano de 1960.....	60
Figura 33. Mapa com as perdas iniciais para 1960.....	61
Figura 34. Histograma de frequência das velocidades para 1960.....	61
Figura 35. Velocidade do escoamento (m/s) para 1960.....	62

Figura 36. Tempo de Concentração (min) para o ano de 1960.....	63
Figura 37. Intensidade da precipitação (mm/h) para o ano de 1960.....	64
Figura 38. Mapa de Precipitação para o cenário 1960.....	64
Figura 39. Mapa mostrando o resultado da condicional do método SCS	65
Figura 40. Duração pre definida que gera escoamento.....	66
Figura 41. Precipitação para duração pré-definida	67
Figura 42. Mapa com os valores de cpre	68
Figura 43. Mapa da vazão de restrição específica	69
Figura 44. Mapa mostrando o resultado da condicional do método SCS	70
Figura 45. Mapa de coeficiente de escoamento.....	71
Figura 46. Mapa de qpre para o tempo de concentração igual a 1 hora.....	72
Figura 47. Cpre para tempo de concentração igua a 4 horas	74
Figura 48. Mapa com qpre para tempo de concentração igual a 4horas	75
Figura 49. Mapa prático de qpre usando unidades de relevo para planejamento	76
Figura 50. Mapa relacionando as áreas não propícias da biorretenção e do pavimento permeável com o mapa prático da vazão específica de restrição para duração igual a 4 horas	78
Figura 51. Mapa relacionando as áreas não propícias da trincheira de infiltração e o poço de infiltração com o mapa prático da vazão específica de restrição para duração igual a 4 horas	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -Tipos de inspeções para manutenção da Biorretenção.	15
Quadro 2 - Tipos de manuntação para trincheira de infiltração.....	18
Quadro 3 - Problemas relativos à estrutura institucional da drenagem urbana no Brasil.	21
Quadro 4 - Nome e número das cartas topográficas utilização.	34
Quadro 5 - Matriz de restrição para a análise da aplicabilidade das técnicas compensatórias escolhidas.	35
Quadro 6 - Codificação das possíveis classes dos critérios e restrições das variáveis.....	37
Quadro 7 - Codificação dos critérios e restrições das variáveis analisadas.	38
Quadro 8 - Valores de CN para áreas urbanizadas	42
Quadro 9 - Mapa 1: Relação das áreas para cada técnica compensatória.....	58
Quadro 10 - Mapa 2: Cenário mais restritivo	58
Quadro 11 - Mapa 3: Cenário menos restritivo	59
Quadro 12. Resumo dos dados obtidos a partir da duração pré-definida.	65
Quadro 13. Resumo dos dados para o tempo de concentração igual a 1 hora.	69
Quadro 14. Resumo dos resultado obtidos com tempo de concentração igual a 4 horas.....	73
Quadro 15. Outras qpre ($L.s^{-1}.ha^{-1}$) para diferentes tempos de concentração (horas).....	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APP	Área de Proteção Ambiental
AI	Abstrações Iniciais
BMP	<i>Best management practices</i>
C	Coefficiente de Escoamento
C_i	Coefficiente de Escoamento de áreas impermeáveis
C_p	Coefficiente de Escoamento de áreas permeáveis
c_{pre}	Coefficiente de Escoamento pré - urbanização
CADES	Conselho Municipal de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável
CN	<i>Curver Number</i>
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
hab.	Habitantes
hab.km ²	Habitantes por quilômetro quadrado
HIDROREMAC	Estudo Hidrogeológico para Subsidiar a Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos Subterrâneos da Região Metropolitana de Maceió
I	Intensidade da chuva
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IMA	Instituto de Meio Ambiente de Alagoas
IPTU	Imposto Predial e Territorial Urbano
K	Coefficiente adimensional que varia com o uso do solo
Km ²	Quilômetro quadrado
L	Comprimento
LID	<i>Low Impact Development</i> - Desenvolvimento de Baixo Impacto
LEGAL	Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algebrico
L.s ⁻¹ .ha ⁻¹	Litros por segundos por hectares
mm/h	Milímetros por hora
P	Precipitação
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
PURAE	Programa de Conservação e Uso Racional de Água nas Edificações
q_{pre}	Vazão pré - urbanização
S	Armazenamento
S	Declividade quando for $V = K \cdot S \cdot 0.2$

s.ha	Segundos por hectares
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
SuSD	<i>Sustainable Urban Drainage Systems</i>
T _c	Tempo de Concentração
V	Velocidade
WSUD	<i>Water Sensitive Urban Design</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	1
OBJETIVOS.....	3
2.1 Geral.....	3
2.2 Específicos.....	3
3 REVISÃO DA LITERATURA.....	4
3.1 Efeitos da urbanização na geração de escoamento superficial.....	4
3.2 Drenagem Urbana Sustentável.....	6
3.3 Métodos de controle de escoamento superficial.....	7
3.3.1 Técnicas compensatórias ou <i>Best management practices</i> – BMP’s.....	7
3.3.2 Vazão específica de restrição.....	9
3.4 Diretrizes para implantação de técnicas compensatórias de infiltração.....	10
3.4.1 Biorretenção.....	13
3.4.2 Pavimento Permeável.....	15
3.4.3 Poço de infiltração.....	16
3.4.4 Trincheira de Infiltração.....	18
3.5 Planejamento da drenagem urbana no Brasil.....	19
3.6 Geoprocessamento aplicado ao planejamento urbano.....	22
4 ÁREA DE ESTUDO.....	23
5 METODOLOGIA.....	32
5.1 Inventário.....	32
5.2 Mapeamento da aplicabilidade das técnicas compensatórias.....	34
5.2.1 Construção da matriz de restrição.....	35
5.2.2 Codificação das variáveis através da lógica Booleana.....	36
5.2.3 Álgebra de mapas utilizando a função Condicional.....	38
5.3 Vazão de restrição específica pelo método racional.....	40
5.3.1 Cálculo e espacialização da vazão de restrição específica por célula.....	42
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	46
6.1 Mapeamento da aplicabilidade de dispositivos de infiltração.....	46
6.1.1 Biorretenção.....	46
6.1.2 Pavimento Permeável.....	49
6.1.3 Poço de Infiltração.....	52
6.1.4 Trincheira de Infiltração.....	55
6.2 Mapeamento da vazão de restrição.....	59
6.2.1 Equacionamento Completo: método cinemático e método racional.....	61

6.2.2	Duração que gera precipitação efetiva.....	65
6.2.3	Duração igual a 1 hora.....	69
6.2.4	Duração igual a 4 horas	73
6.3	Mapa Prático.....	76
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	79
7.1	Mapeamento da aplicabilidade dos dispositivos de infiltração	79
7.2	Vazão específica de Restrição	80
	REFERÊNCIAS	82

1. INTRODUÇÃO

A transformação da paisagem e do uso do solo ocorre mediante o processo de crescimento urbano, gerando a impermeabilização desordenada do solo e a retirada da cobertura vegetal, alterando as funções naturais do ciclo hidrológico via redução da infiltração e da recarga dos lençóis freáticos, acréscimo no escoamento superficial (vazões de pico) e redução no tempo de resposta das bacias (GILROY e MCCUEN, 2009; PETIT-BOIXA, et al., 2015).

O incremento do escoamento superficial, a redução da infiltração associado com problemas de planejamento urbano e planejamento da drenagem urbana, vem ao longo dos anos refletindo de forma negativa nas bacias urbanas e na vida da própria população. De modo a causar alagamentos e inundações quando expostos a eventos de precipitação intensa.

Além dos problemas já conhecidos causados pelas inundações e alagamentos, como os transtornos no cotidiano da população, interdição de vias e em casos mais severos perda de vidas. Há também a contaminação dos corpos hídricos, devido ao carreamento de substâncias por intermédio do escoamento superficial. Além disso, todos esses problemas acabam gerando uma receita maior para as municipalidades.

A bacia do rio Reginaldo em Maceió em Alagoas, é uma bacia extremamente urbanizada com problemas sanitários como a falta de salubridade dos rios e inclusive nas praias, além disso, vem sofrendo ao longo dos anos com problemas de alagamentos e inundações.

Os alagamentos e as inundações na bacia do Reginaldo, tem como causa alguns fatores como, a alta taxa de impermeabilização da bacia, as poucas áreas permeáveis são referentes a alguns loteamentos e algumas áreas ao redor dos rios, o sistema de drenagem da bacia não foi dimensionado com uma previsão de planejamento a longo prazo, dessa forma, não atendendo satisfatoriamente ao atual cenário de urbanização da bacia e as canalizações e retificações dos córregos e rios (FERNANDES, 2010).

As canalizações e retificações existentes, tendem a transferir os pontos de inundações e alagamentos da montante do rio para a jusante, isso porque ocorre perda da rugosidade do leito e alteração da morfologia do canal. Ocasionalmente aumentando a magnitude e frequência das inundações e a perda da qualidade de água, devido a poluição difusa oriunda do escoamento superficial (MILLER e GREBBY, 2014).

Vê-se então a necessidade de pensar em soluções que funcionem de forma integrada aos dispositivos de drenagem urbana já existentes e que sejam passíveis de serem implementadas em bacias urbanas.

Dentre as alternativas para o planejamento da drenagem urbana, tem-se o Desenvolvimento de Baixo Impacto - (LID), que acordo com Guo (2010) é uma estratégia em micro-escala que visa recuperar ou manter o regime hidrológico do período pré-urbanização a partir de projetos singulares e multidisciplinares que consideram além da eficiência hidráulica, a qualidade da água e a harmonia paisagística (FLETCHER et al., 2014).

Estratégias de planejamento com o LID apresentam características importantes para que a drenagem urbana possa adentrar na fase sustentável, como a aplicação do conceito de resiliência onde a estrutura projetada teria a capacidade de resistir, manter e recuperar a funcionalidade mesmo após um evento extremo ou condição de desequilíbrio (MUGUME et al., 2015).

As *Best Management Practices* - (BMP) são dispositivos que tem como objetivo compensar o efeito da urbanização/impermeabilização do solo no ciclo hidrológico, de modo que ocorra a redução volume do escoamento superficial e conseqüentemente o amortecimento da vazão de pico. No Brasil, ficaram conhecidas como técnicas compensatórias ou técnicas alternativas (BATISTA et al., 2005).

As BMP ou técnicas compensatórias são estruturas embasadas na abordagem de LID, pois visam compensar a urbanização com o menor impacto possível.

A compensação ocorre por meio de sistemas de infiltração, detenção e retenção evitando a transferência dos problemas para jusante. Muitos desses dispositivos conseguem também exercer um controle qualitativo sobre o escoamento, melhorando a qualidade da água e exercendo a preservação ambiental, pois conseguem de forma indireta “tratar” o escoamento, reduzindo a possibilidade de contaminação das águas superficiais e subsuperficiais.

O estímulo ou o meio pelo qual se pode induzir o uso das abordagens e técnicas compensatórias se dá por meio de leis e decretos. O Imposto Predial e Territorial Urbano- (IPTU) Verde é usado como um estímulo a implantação de técnicas sustentáveis, como por exemplo micro reservatórios, visando o reuso da água da chuva, há também estímulos para a manutenção de áreas permeáveis dentro do lote.

Além do IPTU Verde, existem também leis e decretos que estabelecem limites para a vazão de saída do lote que chega a galeria fluvial. A vazão específica de restrição, vem sendo implantada em algumas cidades, inicialmente em Porto Alegre (TUCCI, 2000; 2001), Feira de Santana – BA (LIMA e SILVA, 2012), São Paulo (SMDU, 2012, v.3).

Essa nova vertente do planejamento da drenagem urbana, vem ao longo dos anos ganhando espaço principalmente no que compete à gestão de águas fluviais, devido a percepção

da heterogeneidade dos espaços urbanos (BATH et al., 2014). Todavia, é necessário ressaltar a importância que da regulamentação desses dispositivos por intermédio de instrumentos legais, que além dos benefícios hidrológicos quantitativos também trazem benefícios qualitativos.

Nesse contexto, pretende-se com esse trabalho contribuir para que seja possível evoluir no controle do escoamento superficial, estabelecendo condicionantes espacialmente distribuídos que auxiliem na decisão de adotar os referidos métodos e alternativas citadas.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

O objetivo geral desta pesquisa é mapear a aplicabilidade dos dispositivos de infiltração: biorretenção, pavimento poroso, poço de infiltração e trincheiras de infiltração, e espacializar a vazão de restrição específica na bacia hidrográfica do rio Reginaldo

2.2 Específicos

- Avaliar e escolher os critérios que favoreçam e/ou limitem a implantação dos dispositivos de infiltração;
- Mapear os critérios físicos e urbanísticos da bacia que favoreçam e/ou limitem a implantação dos dispositivos: biorretenção, pavimento poroso, poço de infiltração e trincheiras de infiltração;
- Mapear e espacializar as áreas propícias para implementação biorretenção, pavimento poroso, poço de infiltração e trincheiras de infiltração para o controle da vazão de pico e do volume do hidrograma;
- Obtenção e espacialização da vazão específica de restrição para a bacia do rio Reginaldo.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Efeitos da urbanização na geração de escoamento superficial

O processo de urbanização sem planejamento vem alterando significativamente a dinâmica fluvial das bacias hidrográficas ocasionando situações com potencial de perigo para a própria população residente (NORÉN et al., 2016).

De acordo com Trudeau e Richardson (2016), os efeitos do modelo de ocupação urbana das bacias hidrográficas sem um planejamento adequado geram diversas consequências, como a impermeabilização do solo indiscriminada, ocupação de áreas de risco, a degradação da qualidade da água, inundações e os alagamentos (LEE et al., 2012; CAPUTO, 2012).

As inundações em áreas urbanas ocorrem basicamente em função do incremento do escoamento superficial, que se deve a impermeabilização do solo e as intervenções no rio, dessa forma contribuindo para o incremento do volume e frequência da vazão de pico do canal.

Os alagamentos ocorrem devido ao acúmulo de água em áreas não permeáveis, falha ou sobrecarga nos sistemas de micro – drenagem ou a ausência dos mesmos, não estando essencialmente associados a um curso de água.

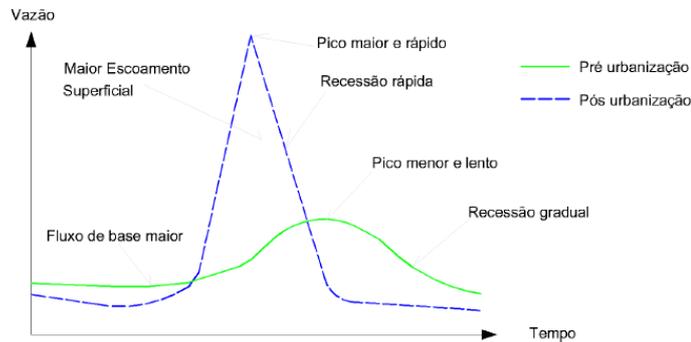
Além dos efeitos supracitados da urbanização desordenada, tem-se também:

- Redução da evapotranspiração e do armazenamento, devido a retirada da vegetação;
- Alteração do clima local, criando ilhas de calor;
- Redução da infiltração e da recarga das águas subterrâneas;
- Incremento do escoamento superficial, aumentando o volume, frequência e intensidade da vazão de pico (SOUZA et al., 2012); e
- O escoamento tende a lixiviar as ruas, levando altas cargas de poluentes para os rios.

O incremento dos problemas oriundos do crescimento das áreas impermeáveis acarretaram em intervenções na drenagem urbana. Em Maceió essas intervenções não foram dimensionadas/planejadas para atender o crescimento urbano, explicando muitos problemas atuais da cidade (FERNANDES, 2010).

As intervenções realizadas diretamente no rio alteram suas características morfológicas e fluviais, consequentemente alterando o seu comportamento natural. A perda de rugosidade devido a canalização, reduz o tempo de concentração e aumenta a velocidade do escoamento e faz com que as vazões atinjam mais rapidamente seu de pico (Figura 1) (BELL et al., 2016).

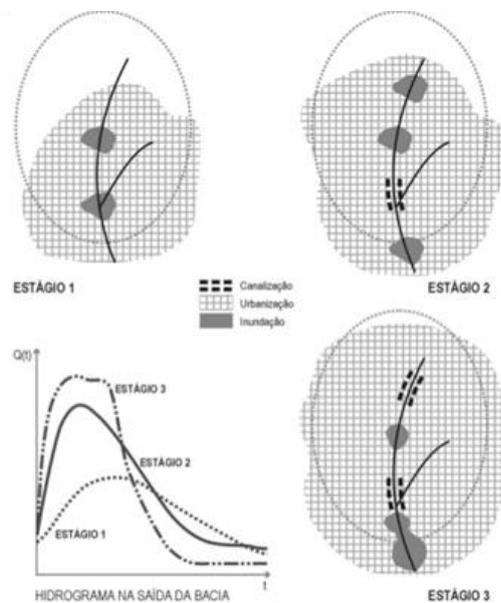
Figura 1 - Diferenças do hidrograma pré e pós urbanização



Fonte: Caputo (2012) adaptado de CIARA (2007)

Benini e Mendiondo (2015) concluem que a medida que ocorre a redução da vegetação e o aumento da impermeabilização o tempo de pico é reduzido e as vazões máximas crescem progressivamente. Além disso, as intervenções transferem os problemas de um ponto da bacia para outros, visto que em muitos casos as intervenções são realizadas de forma pontual (Figura 2).

Figura 2 - Transferências de impactos em uma bacia após a canalização de um rio.



Fonte: Cruz et al. (2001)

Diante do explicitado, fica claro a necessidade de estudar e utilizar novas modalidades de intervenções pautadas em ideais sustentáveis visando reduzir os riscos atuais e futuros, principalmente tendo em vista as perspectivas de crescimento urbano (MCPHERSON, 1974; DRUMOND, 2012).

3.2 Drenagem Urbana Sustentável

A drenagem urbana sustentável surgiu como uma necessidade para atender as demandas ou carências que a drenagem urbana tradicional apresentava. A partir da dec. 70 passou a ser recomendado as municipalidades o uso de novas práticas de drenagem urbana, todavia, somente a partir da dec. de 90 que essas intervenções começaram a ser implantadas em algumas cidades brasileiras (SOUZA et al., 2012).

Além da eficiência hidráulica, essa nova abordagem passou a considerar outros parâmetros como a regulação do escoamento, a manutenção da qualidade da água, o solo, a vegetação, a evapotranspiração e a infiltração (SOUZA et al., 2012; BRUNETTI, et al., 2016).

Nesse sentido, diversos modelos de manejo vêm se desenvolvendo, geralmente variam em função do objetivo principal, na Nova Zelândia por exemplo, o foco é em tratamento de água e saúde. Os modelos de manejo mais difundidos são: *Low Impact Development*, abordagem americana; *Water Sensitive Urban Design* - (WSUD), abordagem australiana; e *Sustainable Drainage Systems* - (SuDS), abordagem britânica.

De acordo com Souza et al. (2012), algumas cidades brasileiras começaram a adotar intervenções com projetos em LID, como Porto Alegre, São Paulo, Curitiba e Santo André.

Low Impact Development – LID

O desenvolvimento de baixo impacto começou a ser desenvolvido na década de 90 em resposta aos impactos ambientais e econômicos negativos oriundos do manejo convencional de águas pluviais (WANG et al., 2016).

O LID tem sido amplamente discutido por se tratar de uma abordagem estratégica de gerenciamento das águas pluviais, que aborda os aspectos qualitativos e quantitativos do escoamento superficial, além de promover integração entre paisagens naturais dentro dos espaços urbanos (SOUZA et al., 2012; MARTIN-MIKLE et al., 2014; AMANTHEA e NASCIMENTO, 2015; BAEK et al., 2015).

De maneira geral, o objetivo dos projetos em LID são de restaurar as condições naturais do local, tentando aproxima-las ao período de pré-urbanização através de medidas de controle em micro-escala descentralizadas (BAPTISTA et al., 2013; AHIABLAME et al., 2013; LOPERFIDO et al., 2014; BAEK et al., 2015; BRUNETTI et al., 2016).

De acordo com Jia et al. (2015), o desenvolvimento de baixo impacto possui os seguintes princípios base: Projetos locais (micro – gestão); Controles distribuídos de pequena-escala ou

na fonte; Combinação entre práticas de controle de escoamento tradicional; Paisagens multifuncionais, proporcionando a integração entre a população local e áreas naturais e em alguns casos a reinserção dos rios na paisagem urbana.

Em geral, se caracterizam por serem projetos embasados no conceito de resiliência e sustentabilidade e na redução de problemas ambientais. Os principais objetivos são: controle de escoamento superficial; coleta de dados básicos e análise das condições locais; e seleção de BMP's possíveis de instalação (JIA et al., 2015).

Para o controle do escoamento superficial, a condição pré-urbanização pode ser um parâmetro de referência a ser alcançado, através da utilização das técnicas compensatórias que visam, compensar os efeitos da urbanização no ciclo hidrológico através da indução de processos como a infiltração.

De acordo com Ahiablame et al. (2013), bacias com algum tipo de projeto em LID tiveram seu escoamento pós-desenvolvimento reduzido em 42% e picos de descargas análogas ao período pré-desenvolvimento.

Dentre as ações orientadas pelas ideias de gestão do LID, são desenvolvidos métodos compensatórios de manejo de águas pluviais ou (BMP's) - *Best Management Practices*, Melhores Práticas de Gestão, utilizando a bacia como escala de planejamento (SOUZA et al., 2012). Burns et al. (2012) aponta a maior eficiência no controle de vazões em bacias gerenciadas por modelos de gestão alternativos (como em bacias florestadas - pré-urbanização), do que modelos pautados somente na eficiência da drenagem.

3.3 Métodos de controle de escoamento superficial

Os métodos de controle de escoamento visam mitigar os efeitos da urbanização e da impermeabilização do solo, e conseqüentemente os desequilíbrios qualitativos e quantitativos que foram causados no ciclo hidrológico.

3.3.1 Técnicas compensatórias ou *Best management practices* – BMP's

As BMP's podem apresentar diversas terminologias, como infra-estrutura verde e no Brasil ficaram conhecidas como técnica compensatórias (CAPUTO, 2012; FLETCHER et al., 2014).

A escolha da melhor técnica a ser usada depende:

- a) Das características físicas e antrópicas do local.

b) Do objetivo do projeto, podendo ser: regulação do escoamento superficial, redução da taxa de poluentes e mitigação de processos erosivos (LIU et al., 2016).

As técnicas compensatórias podem ser: não - estruturais e estruturais. De acordo com Saraiva (1999), Batista et al. (2005), Martin et al. (2007) e Canholi, (2013) as técnicas estruturais são intervenções que visam a minimização de um ou mais parâmetros a fim de corrigir ou prevenir problemas existentes e futuros. As técnicas estruturais podem ser subdivididas em dois grupos:

- Extensivas: (a) aceleração do escoamento; (b) retardo do fluxo; (c) desvio do escoamento; e (d) ações individuais.
- Intensivas: Pequenos armazenamentos, controle de erosão e drenagem ao longo da bacia e recomposição florestal.

Quando voltadas para a regulação do escoamento superficial são classificadas em virtude da sua funcionalidade, podendo ser: infiltração, detenção e retenção. São ainda sistematizadas em função da sua escala de aplicação podendo ser, controle na fonte, lineares e centralizadas (BATISTA et al., 2005).

As técnicas de controle na fonte ou pontuais são medidas que atuam diretamente na fonte de origem do escoamento superficial, podendo ser aplicada em casa e lotes. Urbonas e Staher (1993) acrescentam dizendo que são medidas que buscam estabelecer o armazenamento correspondente ao período pré-desenvolvimento.

As técnicas lineares e centralizadas estão associadas a áreas maiores, estruturas lineares são geralmente inseridas associadas aos sistemas viários, pátios, estacionamentos e arruamentos e as estruturas de controle centralizado, são caracterizadas pelas bacias de detenção e retenção, geralmente usadas para o controle a jusante.

É importante ressaltar que qualquer tipo de técnica gera algum impacto sobre o ciclo hidrológico em graus diferentes, sendo necessário analisar alguns pontos como, as limitações da técnica, necessidade, limitação do projeto. E sempre respeitar as condições para sua implantação e quando necessário fazer as adaptações solicitadas (CAPUTO, 2012).

Souza et al. (2012) e Petit-Boixa, et al. (2015) apontam que quando ocorre a combinação de estruturas de drenagem tradicionais (*grey infrastructures*) com estruturas alternativas (técnicas compensatórias/BMP's) é possível ocorrer uma redução de 77-95% do escoamento de águas pluviais.

3.3.2 Vazão específica de restrição

A vazão específica de restrição vem sendo adotada como uma alternativa para o controle da vazão de pico, complementando o uso das técnicas compensatórias. De acordo com Tucci (2001), a vazão específica de restrição ou vazão pré-urbanização é aquela que se aproxima das condições naturais da bacia ou área de estudo em questão.

Em alguns casos, não é possível voltar a uma condição pré urbanização de fato (onde não há qualquer tipo de ocupação), dessa forma, busca-se voltar a um período com a menor ocupação possível.

Para a bacia do rio Reginaldo, a condição pré-urbanização encontrada foi determinada para a década de 60, onde o uso do solo compreende uma vegetação rasteira, algumas áreas loteadas, e algumas áreas ocupadas no entorno da foz da bacia.

A vazão de restrição é aquela que cada lote pode liberar na galeria fluvial da cidade, podendo ser considerada a vazão máxima de saída para a rede pública. Essa alternativa pode ser estimulada por meio de decretos e legislações como ocorre nas cidades de Porto Alegre, Curitiba, Brotas e do Distrito Federal, sendo uma exigência de extrema importância para que se possa assegurar o efetivo controle do escoamento pluvial excedente e manter as condições de pré-desenvolvimento (AMARAL e BEMFICA, 2013).

Todavia, é importante que sejam estabelecidos critérios simples que para que efetivamente possam ser aplicáveis (ROMAN, 2015). Vazões muito restritivas tendem a apresentar uma maior dificuldade de implantação devido ao volume que precisará ser amortecido por uma técnica compensatória.

A vazão pré-urbanização vem sendo determinada pela simplificação do método Racional utilizado por Tucci (2000) em Porto Alegre, utilizou a chuva de 10 anos de tempo de recorrência como risco e duração de 1 hora. E foi aplicado em outras cidades, Porto Alegre com $c_{pre} 0,15$ e $q_{pre} 20,8 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Nº 15.371, de 17 de novembro de 2006), São Paulo com $c_{pre} 0,15$ e $q_{pre} 25 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ (SMDU, 2012, v.3) e Feira de Santana – BA com c_{pre} igual a 0,21 e $q_{pre} 28,94 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ (LIMA e SILVA, 2012).

Serão usados para a determinação da vazão específica de restrição uma simplificação do método racional e o método cinemático (simplificação da equação de Manning).

O método racional vem sendo usado para o cálculo da vazão máxima de projeto, devido a sua simplicidade de aplicação, e dos parâmetros usados, sendo eles: coeficiente de escoamento, intensidade da precipitação e a área (TUCCI, 2000a).

3.4 Diretrizes para implantação de técnicas compensatórias de infiltração

A implementação de uma técnica compensatória para controle de escoamento superficial está intimamente relacionada com as condições naturais e sociais locais (JIA et al., 2015), de modo que cada condição irá influenciar, qual o tipo de estrutura e a escolha do local onde poderá ser designado o dispositivo.

Martin-Mikle et al. 2015, apontam que a escolha do local ideal para a implementação da técnica compensatória é essencial para o seu funcionamento mais eficaz.

As condições naturais e sociais em geral analisadas para dispositivos de infiltração são (Batista et al., 2005; JIA et al., 2015):

- a) Declividade, condições do solo como porosidade, permeabilidade e impermeabilidade, tipo de aquífero, profundidade do lençol freático; e
- b) Uso do solo, áreas de restrição a ocupação, nível de desenvolvimento ou densidade habitacional, infra-estrutura e potenciais fontes de poluição.

Outros fatores como a precipitação, intensidade e tempo de retorno influenciam os níveis de eficiência de cada estrutura em virtude do tipo de tratamento que irá oferecer e o seu dimensionamento.

De acordo com McCuen (2006 apud Gilroy e McCuen 2009), as técnicas compensatórias possuem variação na eficiência em função do seu objetivo e da intensidade da precipitação, em geral sempre se mostram mais eficientes em áreas impermeáveis e com menor intensidade de precipitação, maiores intensidades de precipitação reduzem sua eficiência, que em geral está associada a capacidade de absorção do solo.

Ainda de acordo com Gilroy e McCuen (2008), foi verificado que os dispositivos baseados no método de infiltração possuem maior eficiência do que os demais, além de apresentarem maior flexibilidade para instalação em relação aos outros.

Os dispositivos de infiltração em geral podem ser instalados em subsolo, tendo pouca interferência no espaço urbano, como os poços de infiltração e os pavimentos permeáveis, biorretenções e trincheiras de infiltração são facilmente inseridas na paisagem urbana.

Apesar da eficiência e facilidade de aplicação, os dispositivos apresentam limitações com relação ao clima e a capacidade natural de tratamento, como apresenta Petit-Boixa et al. (2015):

- Biorretenção e a trincheira de infiltração são estruturas com a capacidade de tratamento natural e que necessitam de modificações caso sejam instaladas em regiões semiáridas. Não é o caso de Maceió visto que o clima da cidade é tropical;

- Pavimento Permeável não possui capacidade natural de tratamento e não deve ser aplicado em regiões frias/com gelo.

Sendo assim, optou-se por trabalhar como as seguintes técnicas: biorretenção, trincheira de infiltração, poço de infiltração e pavimento permeável. No **Erro! Fonte de referência não encontrada.** 1 é possível observar as vantagens e desvantagens de cada dispositivo selecionado.

Quadro 1 - Vantagens e desvantagens de cada técnica compensatória

Dispositivo	Vantagens	Desvantagens
Biorretenção	Redução do escoamento superficial e melhora na qualidade da água, diversos estudos apontam a sua eficiência na redução de cargas de poluentes.	Se implantado de forma incorreta ou se obedecer às restrições necessárias pode ter efeito contrário e gerar níveis de contaminação.
Trincheira de Infiltração	Redução do escoamento superficial e amortecimento em função do armazenamento.	Pode reduzir a eficiência ao longo do tempo dependendo da quantidade de material sólido que drena para a área.
Poço de Infiltração		
Pavimento Permeável	Redução do escoamento superficial. Possui boa aplicabilidade, podendo ser usado em estacionamento, ciclovias, praças e parques	Não deve ser utilizado para ruas com tráfego intenso e/ou de carga pesada, pois a sua eficiência pode diminuir.

Fonte: Adaptado de DEF (2005)

Uma das formas de orientar essa tomada de decisão a respeito dos locais que são mais ou menos propícios em virtude das condições naturais e sociais, é através da matriz de restrição, que pode ser entendida como uma relação de critérios e suas respectivas restrições (MARTIN – MIKLEA et al., 2015).

Vários trabalhos citam matrizes que auxiliam na decisão ou na determinação de áreas propícias a aplicação das técnicas de infiltração, como por exemplo:

- Manual de Drenagem Urbana de São Paulo (SÃO PAULO, 2012);
- Guia de Design para Pavimento Permeável da Califórnia (2014);
- *Manual Low Impact Development Development of Los Angeles* (2014);
- *Design Handbook for Low Impact Development Best Management Practices* (2011);
- Manual de Técnicas Compensatórias (BATISTA, NASCIMENTO, BARRAUD, 2012);
- *The Manual SUDS* (2015);
- *Massachusetts Stormwater Handbook* (V. 2), (MASSDEP, 2008);
- Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2005);
- *New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual* (Blick et al. 2004);
- URBONAS e STAHR (1993).

Os trabalhos citados foram usados como base para a definição dos critérios de restrições que seriam usados no presente trabalho. Destaca-se, por exemplo, que o Manual de Drenagem de SP (volume 3) (SMDU, 2012) apresenta matrizes de restrições detalhadas, de modo que poderia ser um modelo a ser aplicado de forma imediata. No entanto, a quantidade de dados de entrada que ela utiliza a torna impraticável para a maioria das cidades brasileiras, devido a carência de informação.

Figura 3: Matriz de restrição do SMDU (2012)

Medidas de controle na fonte	Áreas Contribuintes Adequadas	Capacidade de Infiltração no Solo Adequada (mmh ⁻¹)	Condições Solo-Aqüífero				Condições de Localização					Condições Sanitárias e Sedimentológicas				Restrições Estruturais e de Desenho		
			Freático alto	Aqüífero em risco	Solo frágil a água	Subsolo impermeável	Declividade alta	Avizânia de exônimo	Restrição de área disponível	Presença de infrações subterâneas	Restrição de urbanização	Armadilha poluía	Armadilha com alta taxa de sedimentos e lixo	Risco sanitário por falta de operação	Risco sedimentológico por falta de operação	Estrutura e travessia interseções	Flexibilidade de desenho	Limite na altura da MC
Pavimento poroso	< 10 ha	7,0 a 200,0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Trincheira de infiltração	< 6 ha	7,0 a 200,0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Vala de infiltração	< 6 ha	7,0 a 200,0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Poço de infiltração	< 6 ha	4,0 a 200,0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Microrreservatório	< 2 ha	7,0 a 200,0 (*)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Telhado reservatório	< 2 ha	N.A.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Reservatório de detenção	> 2 ha	1,0 a 200,0 (**)	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Reservatório de retenção	> 6 ha	0,5 a 60,0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Reservatório subterrâneo	< 8 ha	N.A.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Condutos de armazenamento	< 4 ha	N.A.	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
Faixa gramada	< 6 ha	1,0 a 200,0	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

● = viabilidade de implantação; ● = viabilidade dependente de condição específica; ● = inviável, a princípio
 (*) variante infiltrante (sem fundo); (**) variante bacia de infiltração
 (Adaptado do Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba - PR)

Fonte: SMDU (2012, v.3)

O critério como a profundidade mínima do lençol freático, se deve principalmente para evitar transbordamentos (dimensionamento do dispositivo), áreas com uma profundidade do lençol freático menor tendem a ter uma velocidade de saturação do solo maior, além de expor a contaminação (URBONAS E STAHR, 1993; BATISTA et al., 2005).

Urbanas e Stahre, (1993) e o Manual de Drenagem de Porto Alegre (DEF, 2005) falam da profundidade do lençol freático, não sendo recomendado a profundidades inferiores a 1,2 m devido a possibilidade de rápida saturação do solo em períodos chuvosos e conseqüentemente a possibilidade de transbordamento do dispositivo.

A declividade, é um critério que de acordo com Batista et al. (2005), pode restringir a implantação de dispositivos. A trincheira de infiltração, por exemplo, não é recomendada para áreas com declividades inferiores a 1% devido a possível perda de eficiência do reservatório da

trincheira, em locais com declividades muito acentuadas, o escoamento tem uma velocidade maior, fazendo com que a infiltração seja reduzida.

O Manual de Drenagem Urbana de SP (v.3) (SMDU, 2012), faz uma pequena discretização quanto ao uso do solo, onde as áreas residências são locais totalmente propícios a instalação de dispositivos, todavia, as áreas de comércio e indústria, são incluídas nas restrições que não inviabilizam a instalação, mas que se faz necessário que o projeto do dispositivo seja adaptado. Quanto as ruas, o pavimento permeável bem recomendado, contudo, trincheiras, biorretenções e poços de infiltração não são recomendados.

No manual de drenagem de Porto Alegre (DEF, 2005), é usado um sistema numérico de pontuação baseada na metodologia de *Swedish Association for Water and Sewer Works*, onde cada restrição tem um valor, após preencher a planilha é feita uma média, onde caso o valor seja x significa que o local é “candidato a receber o dispositivo”, caso o valor encontrado seja y o local “não é candidato a receber o dispositivo”.

Para o presente trabalho, foi adotado uma outra forma de relacionar os critérios e restrições utilizando um sistema de codificação, que será explicado adiante. O objetivo é de além de dizer os locais propícios e não propícios, poder indicar qual o conjunto de restrição tornou aquele local impróprio, e seguindo algumas diretrizes no Manual de drenagem de SP (v.3) (SMDU, 2012), quais as restrições específicas que fazem com que o projeto necessite sofrer adaptação para ser instalado.

3.4.1 Biorretenção

A biorretenção também conhecida como jardim de chuva é uma técnica compensatória em LID de controle na fonte e distribuído, que favorece a infiltração, evapotranspiração, biofiltração e o armazenamento temporário da água (BATISTA et al., 2005; RIVERSIDE COUNTY FLOOD CONTROL AND WATER CONSERVATION DISTRICT, 2011; WANG et al., 2016).

De acordo com Wang et al. (2016), a biorretenção vem sendo estudada e aplicada devido a sua capacidade combater os problemas de quantidade e qualidade de água do escoamento. Ahiablame et al. (2013) mostra que a biorretenção consegue reduzir o pico do escoamento, variando na faixa de 32% a 99%.

A biorretenção é capaz de contribuir com os seguintes aspectos (KATSIFARAKIS et al., 2015):

- Redução do escoamento total e na atenuação dos picos.

- Melhoria da qualidade da água de chuva através da retenção de poluentes, filtração e consequentemente mitigação da poluição dos corpos de água receptores de escoamento.
- Armazenamento de água da chuva, podendo servir para atender a demanda de água para atividades que não necessitam de água potável.
- Reabastecimento de aquíferos locais.
- Alívio na rede de drenagem e de esgotos devido ao armazenamento temporário.
- Melhoria da paisagem urbana.

Wang et al. (2016), observou que a biorretenção é mais sensível ao tratamento da qualidade do escoamento do que da quantidade do escoamento que infiltra, isso porque a técnica compensatória em questão apesar de trabalhar com o mecanismo de infiltração, tem como foco principal a melhoria da qualidade da água (Figura 4).

Figura 4. Esquema de funcionamento da biorretenção.



Fonte: Ministério das cidades ([S/D]).

Apesar de serem estruturas versáteis, apresentam limitações diante de algumas características físicas e antrópicas do local a ser instalado. Sendo assim, as biorretenções não são recomendadas nas seguintes situações (RIVERSIDE COUNTY FLOOD CONTROL AND WATER CONSERVATION DISTRICT, 2011; KATSIFARAKIS et al., 2015):

- A jusante de áreas onde grandes quantidades de sedimentos possam obstruir o sistema;
- Altas declividades, maiores que 20%, isso porque a velocidade do escoamento impede que ocorra a infiltração;
- Não devem ser construídas sobre tanques sépticos;
- Necessário que a área escolhida receba uma quantidade mínima de sol, visando a manutenção das plantas;
- Deve existir uma distância mínima entre as biorretenções.

Alguns procedimentos de manutenção são importantes para o funcionamento correto do dispositivo como mostra a Quadro 1 -Tipos de inspeções para manutenção da Biorretenção.

Quadro 1 -Tipos de inspeções para manutenção da Biorretenção.

Tipo de Inspeções	Medidas
Continuas	Remova lixo e detritos; Substituir a grama e / ou plantas danificadas; e Substitua a camada de palha de superfície conforme necessário.
Após eventos de chuva	Fazer a inspeção da área
Anualmente	Inspecionar / limpar entradas e saídas

Fonte: Adaptado de *Riverside County Flood Control and Water Conservation District* (2011);

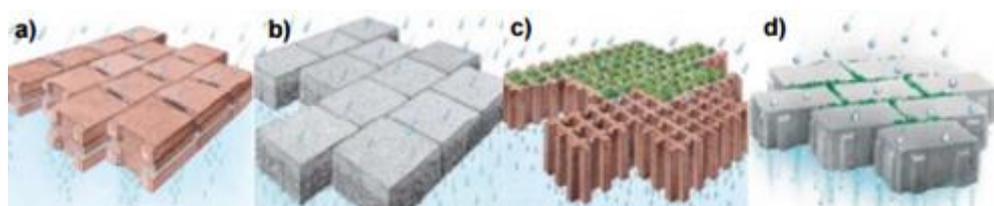
3.4.2 Pavimento Permeável

O pavimento permeável ou pavimento poroso, é uma técnica linear, direcionada a infiltração do escoamento superficial, proporcionando uma recuperação *in situ* do ciclo hidrológico urbano (BAPTISTA et al., 2005; HUANG et al., 2016).

De acordo com Yong et al. (2013) os pavimentos porosos podem ser de dois tipos, monolíticos e modulares. Os monolíticos são constituídos por materiais granulares ligados, enquanto estruturas modulares são construídas a partir de pavimentos individuais com um intervalo entre cada deles.

Os pavimentos permeáveis podem ser superfícies de asfalto e concreto permeáveis, bloco modular permeável ou pavimentos inter-bloqueadores (Figura 5) (RIVERSIDE COUNTY FLOOD CONTROL AND WATER CONSERVATION DISTRICT, 2011; HUANG et al., 2016).

Figura 5. Tipos de pavimentos permeáveis: a) Pavimentos com canais; b) pavimentadores porosos; c) permeável verde, com aberturas pequenas d) Pavimento permeável verde com juntas largas.



Fonte: Better Urban Water Management (2008)

Por ser uma técnica de infiltração, promove uma série de benefícios como por exemplo a capacidade de ajustar a umidade atmosférica, mitigação dos efeitos de ilhas de calor urbano

e a redução das taxas de cargas poluentes em pelo menos 75% para metais e sólidos totais em suspensão (JIANG et al., 2015).

Podem ainda ser usados para reuso de água, visto que a água ao infiltrar fica reservada na estrutura até que termine de infiltrar totalmente (AHIABLAME et al., 2013).

De acordo com Yong et al. (2013) possuem uma capacidade de infiltração normalmente acima de 4500 mm/h, e quando novos de 100-1000 mm/h com tempo de operação variando entre 15-20 anos. Morales Torres et al. (2016), apontam que a eficiência desse sistema pode ser de aproximadamente 90%, podendo manter a sua capacidade a um nível satisfatório com manutenção adequada durante até 10 anos (HUANG et al., 2016).

As taxas de infiltração podem variar de acordo com o tipo de pavimento permeável, Kumar et al. (2016), mostra que ao longo de 4 anos, a maiores taxas de infiltração foram em concretos permeáveis, seguido pelo pavimento permeáveis e por fim o asfalto permeável.

A vida útil do dispositivo aumenta quando expostos magnitudes de fluxo variável (período de seca e chuva) se comparado aos sistemas que recebem molhamento contínuo sem períodos de secagem (YONG et al., 2013)

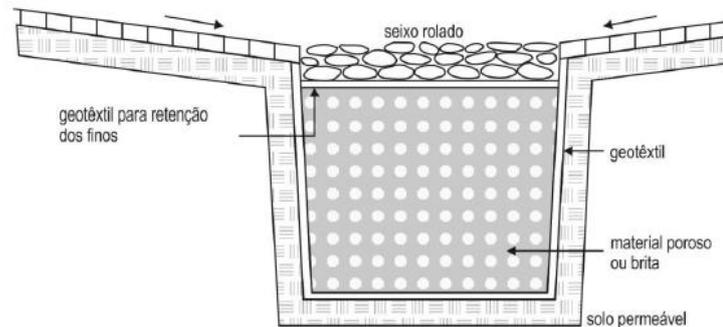
Uma característica muito importante é a sua capacidade de adaptação a ambientes fortemente urbanizados, quando comparados a outros dispositivos (YONG et al., 2013), podem ser adotados em estacionamentos, áreas de lazer, passarelas, trilhas de bicicleta e quadras esportivas (RIVERSIDE COUNTY FLOOD CONTROL AND WATER CONSERVATION DISTRICT, 2011). Não são recomendados em áreas a jusante com processos erosivos e com alta potencialidade de contaminação (RIVERSIDE COUNTY FLOOD CONTROL AND WATER CONSERVATION DISTRICT, 2011).

De acordo com o Guia de Desing para Pavimento Permeável da Califórnia (2014), os pavimentos permeáveis necessitam de uma menor taxa de infiltração se comparado a outros dispositivos de infiltração, os grupos hidrológicos A e B são em geral os mais recomendados, todavia, é admitido outros solos, deste que o dimensionamento seja ajustado a essas características.

3.4.3 Poço de infiltração

Os poços de infiltração também conhecidos como poços secos (*Dry well*), são estruturas de controle na fonte e apresentam um caráter pontual. São estruturas de fácil integração com o espaço urbano por não necessitarem de muito espaço em superfície (figura 6) (BATISTA et al., 2005).

Figura 6. Esquema da estrutura de um poço de infiltração



Fonte: Tominaga (2013)

Peixoto (2011) e Blick et al. (2014) apontam dois tipos de poços de infiltração, os revestidos e não revestidos, os poços revestidos são geralmente revestidos por tubos de concreto, Carvalho e Lelis (2010), apontam uma solução alternativa utilizando de pneus, que além de ser um material em abundância tem uma durabilidade maior que 100 anos exposto na natureza. Os poços não revestidos são envoltos diretamente com manta geotêxtil (PEIXOTO, 2011).

De acordo com Reis (2008), ao avaliar a capacidade de eficiência entre poços revestidos e não revestidos, observou que a taxa de infiltração em poços revestidos é superior aos dos poços não revestidos.

De acordo com Batista et al. (2005), a declividade e o aporte de sólidos apresentam um grau de importância pequeno se comparado a profundidade com o lençol freático e permeabilidade do solo que de acordo com Blick et al. (2004) devem ser construídos somente em solos do grupo hidrológico tipo A e B.

Blick et al. (2004), indicam que o poço de infiltração não é indicado para áreas onde há risco alto de poluição, indicando que não devem ser aplicados em áreas industriais e comerciais.

Ainda de acordo com Batista et al. (2005), os poços de infiltração são facilmente adaptados para tempos de retorno de 5 anos, visando o controle de vazão de pico, são ainda adaptados para controle de volume de escoamento e recarga de lençol freático a depender da capacidade de permeabilidade do solo (TOMINAGA, 2013). No município de Lassance em Minas Gerais, foi implantado visando mitigar os alagamentos que ocorriam nas vias públicas.

Podem ser adaptados para o controle de erosão a jusante e para TR's de 30 anos, sendo pouco ou impossível de serem adaptados para TR's de 100 anos e reuso direto água. Cabe ressaltar, que Batista et al. (2005), não faz menção a tempos de retorno de 10 anos.

3.4.4 Trincheira de Infiltração

Trincheiras de infiltração são obras lineares, de controle na fonte, que recolhem o escoamento de superfícies adjacentes, por ser uma técnica que trabalha com os mecanismos de infiltração e evapotranspiração, armazenam temporariamente o escoamento recebido, contribuindo para aumentar a capacidade natural do solo para armazenar e drenar a água (WOODS-BALLARD, 2007; RIVERSIDE COUNTY FLOOD CONTROL AND WATER CONSERVATION DISTRICT, 2011; PEITER e POLETO, 2012; MELLO et al., 2016).

Ao contribuir com a redução do escoamento, há também uma redução do fluxo de pico, fazendo com que o volume de água em superfície que chega nos cursos de água seja retardada e/ou reduzida, evitando a sobrecarga dos sistemas de drenagem e a redução da erosão do canal.

Os mecanismos da trincheira se assemelham ao da biorretenção, tendem a tratar o escoamento apesar de não ser seu foco principal (RIVERSIDE COUNTY FLOOD CONTROL AND WATER CONSERVATION DISTRICT, 2011; PEITER e POLETO, 2012).

A eficiência da trincheira é reduzida devido ao processo de colmatação que ocorre naturalmente, dessa forma é necessário que ocorra manutenção periódica, como mostra a Quadro 2 (WOODS-BALLARD, 2007).

Quadro 2 - Tipos de manutenção para trincheira de infiltração.

Atividade	Período da Manutenção
Remover os detritos e manter a área do jardim com grama baixa.	Manutenção padrão/Semanal
Verificar os poços de observação após 3 dias de tempo seco. A falta de filtração dentro deste período de tempo indica obstrução Inspeccionar dispositivos de pré-tratamento e estruturas de desvio para a acumulação de sedimentos e danos estruturais.	Semestral
Se a capacidade de bypass estiver disponível, pode ser possível recuperar a taxa de infiltração no curto prazo usando medidas tais como proporcionar um período seco prolongado	Manutenção 5 anos
Reabilitação total da trincheira para manter a capacidade de armazenamento dentro de 2/3 do volume de tratamento de projeto e limite de taxa de exfiltração de 72 horas Escavar as paredes da trincheira para expor o solo limpo.	Manutenção em caso de falha
3 dias após eventos de chuva	Em caso de obstrução, remover o material e adicionar uma nova camada.

Fonte: Adaptado de *Riverside County Flood Control and Water Conservation District* (2011).

De acordo com o Susdrain, as trincheiras de infiltração são facilmente incorporadas aos ambientes urbanos, podem ser instaladas em áreas residenciais, comerciais e industriais e áreas com alta densidade populacional, não sendo recomendado para áreas contaminadas e em áreas potenciais de contaminação do lençol freático (WOODS-BALLARD, 2007; MELLO et al.,

2016). De acordo com Mello et al. (2016) e Urbonas e Stahre, (1993) as trincheiras não devem ser instaladas sobre aterros, declividades acentuadas.

O *Riverside County Flood Control and Water Conservation District* (2011), faz as seguintes considerações quanto as restrições de uso, evitar locais industriais ou locais onde possam ocorrer derramamentos de materiais tóxicos, solos com baixos níveis de infiltração ou pouco permeáveis, e altas declividades.

De acordo com Mello et al. (2016), são estruturas que podem ser implementadas superficialmente ou de forma subterrânea, não há um padrão na literatura que indique as dimensões e padrão estrutural da técnica.

3.5 Planejamento da drenagem urbana no Brasil

Assim como as cidades necessitam de seus planos diretores e planos de saneamento, a drenagem urbana também necessita de uma estratégia de gerenciamento e manejo de seu sistema.

O plano diretor de drenagem urbana é o “conjunto de diretrizes que determinam a gestão do sistema de drenagem, minimizando o impacto ambiental devido ao escoamento das águas pluviais”.

Seus principais objetivos são: estabelecer diretrizes que visem dar auxílio na regulamentação e implantação de novos empreendimentos; utilizar medidas estruturais e não estruturais para a mitigação de problemas como; dar diretrizes para promover soluções economicamente viáveis; e propor formas para a fiscalização e coordenação das atividades.

Todavia, o uso do PDDU ainda é muito incipiente na maioria das cidades brasileiras, de acordo com Cruz e Tucci (2008) em “2000 dos 5.507 municípios brasileiros, apenas 841 tinham Planos Diretores Urbanos (PDU) sendo somente 489 com data posterior a 1990, dos municípios com população superior a 20.000 habitantes somente 485 possuem PDU de um total de 1483 municípios”.

Gradualmente, alguns pontos essenciais dos planos diretores de drenagem urbana foram sendo alterados, deixaram de abordar somente os aspectos arquitetônicos/paisagísticos (CRUZ e TUCCI, 2008), e começaram a tratar de aspectos além da drenagem urbana tradicional.

Passou a abordar aspectos referentes a técnicas sustentáveis em drenagem urbana, como as técnicas compensatórias. São exemplos atualmente de algumas cidades que contam com planos diretores de drenagem urbana, Recife (PREFEITURA DE RECIFE, 2015); Bauru (PREFEITURA DE BAURU, 2014); São Paulo (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2012);

Distrito Federal (DISTRITO FEDERAL, 2009); Natal - RN (PREFEITURA DE NATAL, 2009); Guarulhos (PREFEITURA DE GUARULHOS, 2008); Vitória (PREFEITURA DE VITÓRIA, 2008); Campo Grande – Mato Grosso do Sul (PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPO GRANDE, 2008); Porto Alegre (PREFEITURA DE PORTO ALEGRE, 2005); e Metropolitana de Curitiba (CH2M HILL DO BRASIL – SERVIÇOS DE ENGENHARIA LTDA, 2002).

Em alguns casos, a drenagem urbana está inserida no plano de saneamento, como por exemplo o caso do município de Valadares – MG (2015), Piraquara – PR (2015), Rio Grande – RS (2013). A partir dos planos diretores, são criados os manuais de drenagem urbana, como o Manual de Drenagem Urbana de São Paulo, volume 1,2 e 3.

Atualmente, mesmo com o programa de drenagem urbana sustentável gerenciado deste 2006 pelo Ministério das Cidades (BRASIL, 2006), tem se vivido um grande problema no planejamento e na gestão da drenagem urbana, como apontam Saraiva (1999) e Baptista e Nascimento (2002), onde a falta de integração entre os setores nas municipalidades e a falta de um setor específico para tratar das águas pluviais vem acarretando em ações insuficientes ou até mesmo congelando ações devido à falta de diálogo (CARMO e MARCHI, 2013).

De acordo com Cruz e Tucci (2008), o planejamento da drenagem urbana no Brasil ainda é muito incipiente, visto que em um mesmo recorte de tempo, o avanço que se tem no que concerne ao desenvolvimento sustentável e técnicas compensatórias é muito maior nos países desenvolvidos.

Baptista e Nascimento (2002) identificam dois grandes problemas na gestão das águas urbanas: (a) técnica – existe dificuldade em conhecer a extensão, estado de conservação e o funcionamento da rede de drenagem e dos processos hidrológicos, e a inadequada equipe técnica (qualidade e quantidade); (b) institucional – fragilidade político institucional, fragmentações das ações devido à dificuldade de diálogo entre os diferentes atores da gestão municipal, falta de integração gerencial.

A integração dos instrumentos de gestão da municipalidade é de extrema importância, isso porque as águas urbanas são facilmente influenciadas pela maioria das ações das outras esferas de planejamento. Burby e French (1981 apud Saraiva 1999) apontam paradoxos, que ocorrem devido à falta de integração e principalmente pela falta de um setor específico que trata das águas urbanas (BAPTISTA e NASCIMENTO, 2002).

A gestão unificada e qualificada se apresenta como um desafio diante do político - institucional atual, causando grande impacto econômico nas municipalidades e nos estados,

onde cada vez mais a um crescimento na demanda de investimentos, que ao longo dos anos tornam-se insuficiente devido a falta de efetividade e funcionalidade das intervenções que ainda são utilizadas. A Quadro 3, faz uma associação entre a escala de trabalho, problema e causa.

Quadro 3 - Problemas relativos à estrutura institucional da drenagem urbana no Brasil.

Nível	Problemas	Causas
Equipe técnica	Inadequação tecnológica	Carência de investimentos em formação e atualização das equipes.
	Equipes técnicas em pequenas cidades	Volume de trabalho insuficiente para formação de equipes adequadas.
	Desconhecimento do sistema de drenagem	Inadequação de investimentos em cadastro e gestão patrimonial.
	Desconhecimento relativo dos processos físicos envolvidos	Inadequação de investimentos no monitoramento hidrológico e ambiental.
Municipal	Fragilidade do setor responsável pela drenagem	Falta de autonomia e continuidade administrativa; inadequação do fluxo de recursos financeiros.
	Fragmentação e duplicação das ações no tocante à drenagem	Multiplicidade de atores envolvidos; inadequação do fluxo de informações entre os atores.
Intermunicipal	Inadequação no tratamento de questões intermunicipais	Abordagem estritamente municipal dos problemas.
	Inadequação no tratamento de questões metropolitanas	Abordagem estritamente municipal dos problemas.
Estado	Deficiências na estrutura jurídica	Carência de formalização das necessidades

Fonte: Baptista e Nascimento (2002)

Além da necessidade de integração entre os setores, é importante que ocorra uma renovação no paradigma, passando a integrar e promover novas técnicas em drenagem urbana, como as técnicas compensatórias e que as ações passem a ser pautadas na prevenção e não na correção.

O planejamento funcional da drenagem urbana deve considerar a integração entre os dispositivos tradicionais de drenagem, medidas de controle na fonte, não - estruturais e os demais instrumentos (SOBRINHO e NEVES, 2015). A aplicação e utilização de técnicas compensatórias, e o tratamento e disposição final das águas pluviais, tem início na Lei nº 11.445/2007 que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico (CARMO e MARCHI, 2013).

Todavia, ainda existe grande resistência no uso de técnicas de drenagem sustentável, sendo necessário o uso de incentivos que visem estimular a implementação dos mesmos ou até mesmo leis e decretos que visem regular e controlar determinadas atividades.

Um exemplo de incentivo fiscal é o IPTU Verde, onde é concedido um desconto para imóveis que adotarem medidas de sustentabilidade, como captação da água da chuva, entre outros, ou que mantenham uma parcela permeável dentro do seu terreno.

A taxa de desconto varia em função da municipalidade, são exemplos, de cidades que adotaram o IPTU Verde: Curitiba (Lei Complementar n.º 9.806/2000 – Código Florestal do Município de Curitiba); Salvador (Decreto Nº 25.899 de 24 março de 2015); Guarulhos (Lei Municipal 6.793/2011); Goiânia (Lei Complementar Nº 235, de 28 de dezembro de 2012); Sorocaba (Lei nº 9.571/11); e Araraquara (Lei nº 7.152/09); São Vicente (Lei nº 634/2010).

Algumas cidades adotam taxas de permeabilidade visando limitar a total impermeabilização do solo e manter uma taxa mínima do lote com área permeável. Na cidade Maceió, o Art. 281 prevê em zonas urbanas e corredores urbanos uma taxa mínima de permeabilidade em função do tamanho do lote, apesar das taxas determinadas não serem as ideais, ainda assim, se constitui em um avanço para a cidade.

3.6 Geoprocessamento aplicado ao planejamento urbano

As técnicas de geoprocessamento têm sido amplamente utilizadas na obtenção de dados, para diversos segmentos, que vão desde a obtenção de dados para alguns tipos de modelagem, como também vem sendo aplicado para planejamento e gestão, urbana, territorial, ambiental e dos recursos hídricos (PICKBRENNER et al., 2005).

A tendência em usar as técnicas de geoprocessamento, está na possibilidade de conhecer melhor a superfície e o território, tanto em escala de detalhe, permitindo estudos mais específicos como também em escalas mais abrangentes, permitindo também a espacialização das informações através dos Sistemas de Informações Geográficas – SIG.

As técnicas de geoprocessamento vêm se tornando um instrumento importantíssimo para os diversos setores de planejamento, devido a geração e análise de informações especializadas, onde um dado numérico passa ter uma representação espacial, como por exemplos os dados de precipitação média de uma bacia (FARINA, 2006).

As técnicas de geoprocessamento vêm sendo aplicadas em diversas áreas, como em pesquisa mineral, na área de saúde, monitoramentos, qualidade da água, mapeamento de risco (inundação, erosão, escorregamento), delimitação de áreas de APP, Unidades de Conservação, Corredores Ecológicos, zoneamentos (urbanos, ambientais e de risco), escolha de locais para implantação de aterros sanitários e parques verdes. Podem ser citados alguns exemplos práticos das aplicações de técnicas de geoprocessamento como será visto a seguir.

Matias e Nascimento (2006), mapearam as áreas com uso e cobertura do solo irregular nas áreas de APP de rio e das faixas de domínio de linhas de transmissão e ferrovias.

Pickbrenner et al. (2005) propõe uma metodologia para a determinação do CN médio em subbacias. Lima et al. (2008) utiliza o geoprocessamento para estimar e avaliar a variabilidade espaço temporal da vazão específica média.

Magalhães et al. (2010) utilizou técnicas de geoprocessamento para a obtenção de alguns dados, como modelo digital de elevação e o mapa de uso e cobertura do solo e modelos hidrológicos para estimar a vazão a jusante.

Pinheiro et al. (2009) aplicou o geoprocessamento para analisar as informações acerca da qualidade das águas, dos usos preponderantes e das fontes poluidoras na bacia hidrográfica do rio Macaé.

Aragão et al. (2015) utiliza o geoprocessamento para a delimitação de áreas potenciais para a implantação de parques urbanos no perímetro de uma bacia a partir da utilização da lógica *fuzzy* e booleana.

Rezende et al. (2015) aplicou o geoprocessamento para a avaliação de locais de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário, através da álgebra de mapas, utilizando o método de análise múltiplo critério (ROCHA et al., 2015; MOREIRA et al., 2016).

Além das ferramentas que já existem em SIG e das suas mais variadas aplicações, existe ainda a possibilidade de criar outras ferramentas, através de programação, que sejam direcionadas a problema/estudo de caso do usuário/pesquisador.

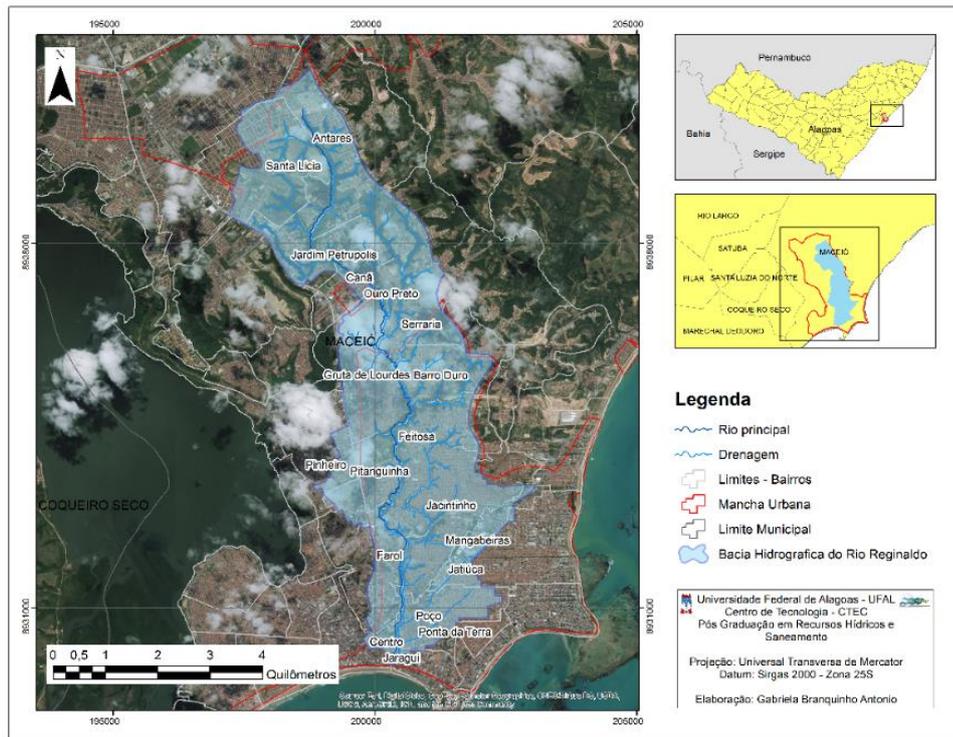
Cada SIG trabalha com um tipo específico de linguagem de programação, o SPRING utiliza a linguagem de programação LEGAL - Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico, o Quantum Gis foi desenvolvido na linguagem C++, mas que pode ser estendido para o *Python*, e o Arcgis possui o módulo *arcpy*, permite que sejam desenvolvidos *scripts* para que sejam adicionados a caixa de ferramenta também em *Python*.

4 ÁREA DE ESTUDO

Caracterização das condições físicas

A área de estudo selecionada é a bacia hidrográfica urbana do rio Reginaldo em Maceió/AL, apresenta uma área de 26,5 km² o que representa aproximadamente 41,6 % da mancha urbana de Maceió que possui uma área de 63,65 km². Dos 50 bairros de Maceió 18 bairros são drenados totalmente ou parcialmente pela bacia em questão (figura 7).

Figura 7. Mapa de localização da Bacia do rio Reginaldo.



Fonte: Autor (2017)

A bacia do riacho Reginaldo é do tipo exorréica, o riacho principal é o Reginaldo, que tem como afluentes principais a partir da nascente, os riachos: Seco, Pitanga, Pau D'arco, Sapo e Gulandim (FERNANDES, 2010).

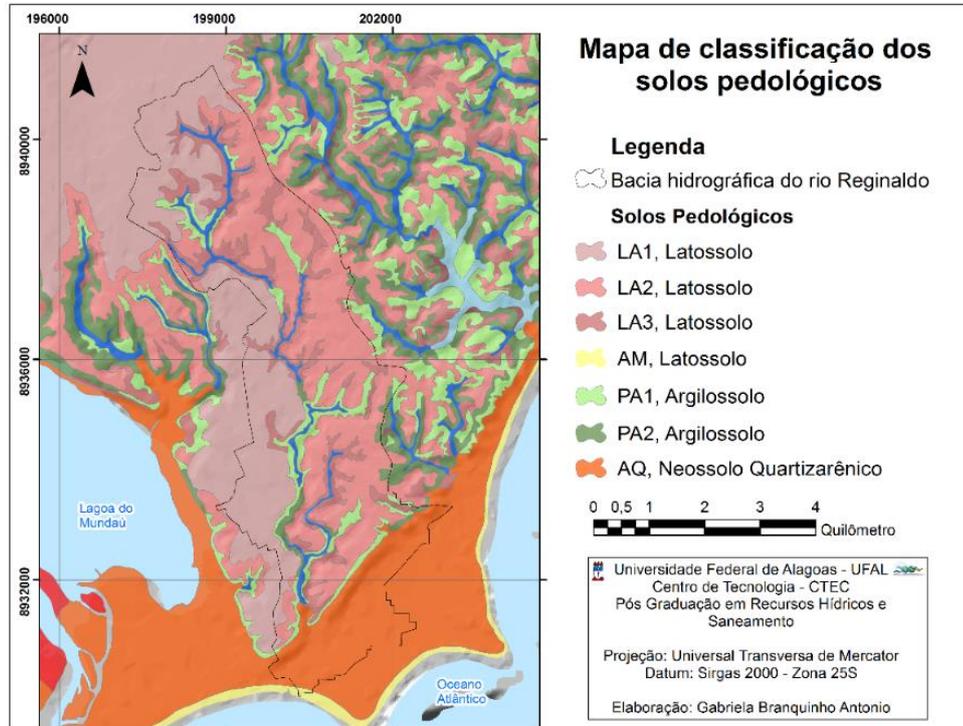
As declividades mais frequentes são as menos acentuadas, inferiores a 12,75 %, significando que a maior parte da bacia apresenta relevos de plano, suave-ondulado, a ondulado, com pequenas áreas de relevo fortemente-ondulado (EMBRAPA, 1979). A declividade máxima da bacia é 49,5 % representando a classe de relevo fortemente-ondulado, a mínima é 0 (relevo plano) e a média é de 6,29 %.

A cota máxima da bacia não ultrapassa 105 m, na parte alta da cidade, e a cota mínima é de 5 m, na foz do rio Salgadinho, na praia da avenida. A quebra de declive é bem nítida ao final do relevo do tipo tabuleiro em direção aos depósitos/planícies litorâneas.

A bacia está completamente inserida no grupo Barreiras (23,9km²), com rochas sedimentares e Depósitos Litorâneos (2,5 km²) composto por material arenoso. O grupo Barreiras é composto por rochas sedimentares, textura predominantemente arenosa com porosidade variando de 15 a 30%. Os depósitos litorâneos são constituídos por material superficial, areia e argila, apresenta alta taxa de porosidade, sendo superior a 30% (CPRM, 2012).

A bacia é constituída constituídos por Latossolos, Gleissolos, Argilossolo e Neossolo Quartzarênico, como mostra a Figura 8.

Figura 8. Mapa de solos pedológicos da bacia do rio Reginaldo.

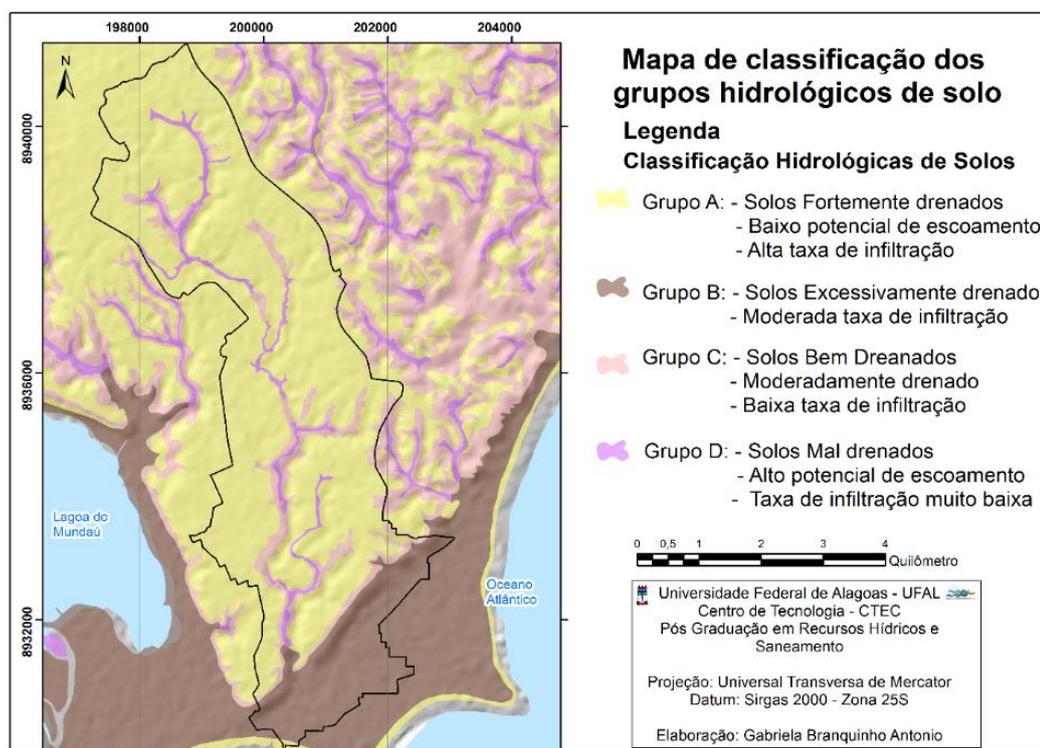


Fonte: Autor (2017), Modificado de EMBRAPA, (2005).

De acordo com a classificação de grupos de solos hidrológicos proposto por Sartori et al. (2005), na bacia ocorrem os quatro grupos hidrológicos dos solos pelo método *Curve Number* na bacia (Figura 9), entretanto, os solos C e D se apresentam de forma mais discreta, sendo o A mais abundante seguindo do B (USDA, 1986).

A predominância do grupo A significa que a bacia apresenta um grande potencial para infiltração e baixo potencial para o escoamento superficial.

Figura 9. Mapa de grupo de solos hidrológicos da bacia do rio Reginaldo.



Fonte: Autor (2017)

Caracterização Socioambiental

A bacia está inserida em quatro macrozonas de planejamento, sendo elas: macrozona de adensamento controlado, macrozona prioritária para infraestrutura; macrozona de expansão urbana e macrozona de restrição a ocupação.

As áreas de macrozona de restrição a ocupação da bacia estão inseridas no relevo do tipo tabuleiro, que constituem áreas de mananciais, recarga, restrição legal e institucional.

Apesar da grande importância que a bacia do Reginaldo tem para a cidade de Maceió, ela apresenta grandes problemas de infraestrutura, ambientais e saneamento, inundações e alagamentos, que associados as características físicas da bacia são intensificados. Em muitos trechos de rios, durante o período de estiagem, sua vazão é praticamente resultante do despejo de esgotos domésticos e/ou industrial.

O lançamento de efluente aumenta os riscos para a população, que além de ficar exposta a inundações, também ficam vulneráveis a exposição à água contaminada, podendo constituir mais um problema de saúde pública. Além da contaminação da água subterrânea.

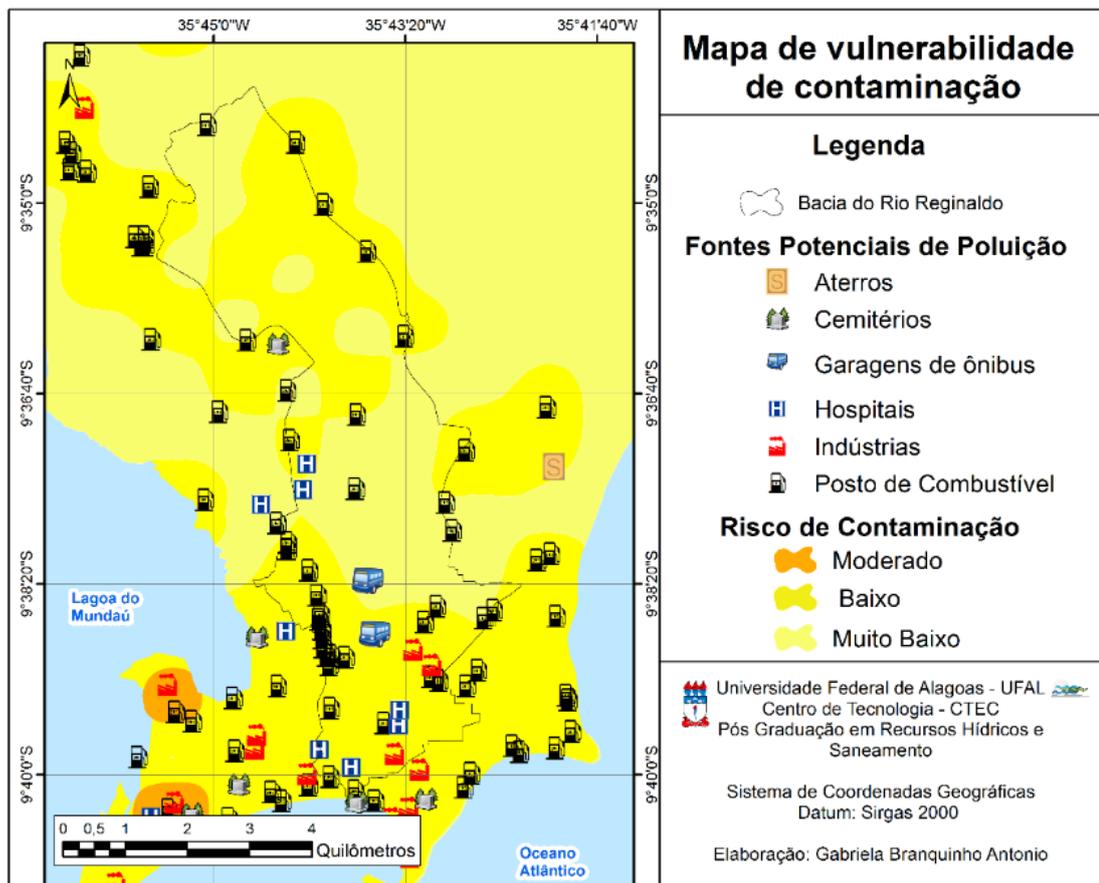
Visando reverter essa situação o plano diretor urbanístico de Maceió (PEREIRA et al., 2006) aponta sobre a priorização de estudos ambientais e urbanísticos:

Art. 28 XI, fala da priorização do estudo do riacho Reginaldo e do riacho do Silva para sua adequação ambiental.

O risco de contaminação, é um fator importante porque áreas com maior potencial de contaminação, são impróprias para implantação de alguns dispositivos, dessa forma, se constituindo como uma área não propícia.

Apesar da preocupação no que concerne a contaminação da água e do solo, um estudo realizado através do Projeto de Recursos Hídricos Subterrâneos da Região Metropolitana de Maceió – HIDROREMAC (ANA, 2011) em conjunto com Silva (2013), aponta que a área correspondente a bacia do Reginaldo, não apresenta altos potenciais de vulnerabilidade a contaminação do solo, a vulnerabilidade é de baixa a baixíssima, mesmo no entorno de postos de gasolina e cemitérios (figura 10).

Figura 10. Mapa de Risco de Contaminação do solo por diversas Fontes poluidoras.



Fonte: Modificado de Silva (2013)

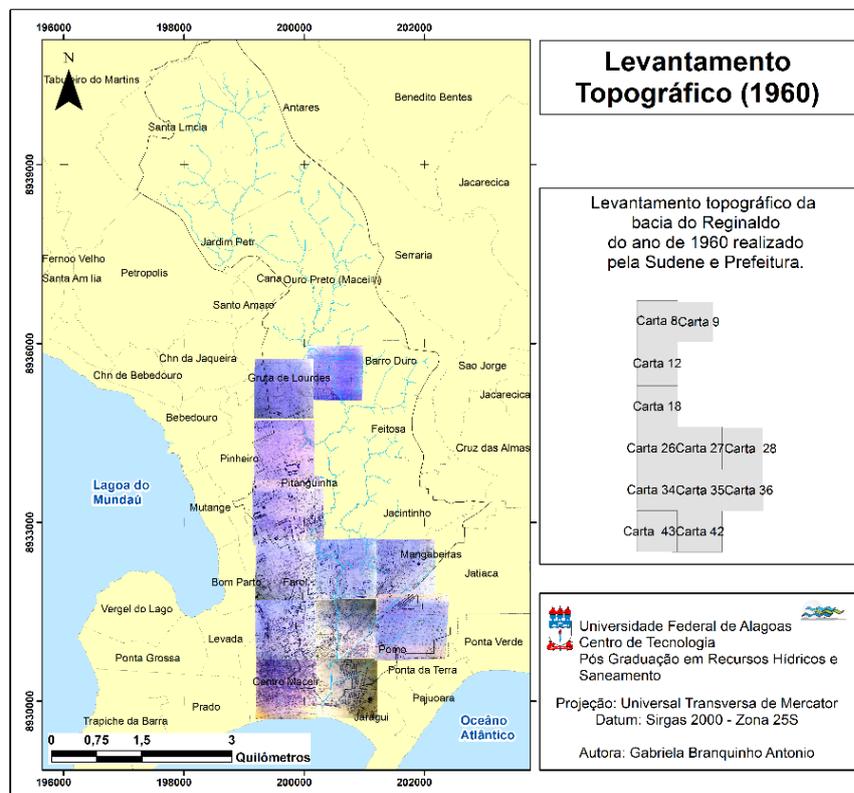
Evolução do uso do solo

De acordo com Fernandes (2010), a população de Maceió vem crescendo expressivamente ao longo dos anos, refletindo no adensamento dos espaços impermeáveis.

Durante a década de 60 a população de Maceió era de aproximadamente 170.134 habitantes, as áreas impermeáveis eram menos expressivas do que durante as décadas de 1980 e 1990, onde a população passou respectivamente para 409.191 habitantes para 628.241 habitantes.

A figura 11 mostra a ocupação urbana na bacia em 1960, as áreas ocupadas se resumem a alguns bairros da parte baixa da bacia, há ainda muitas áreas loteadas, que posteriormente, foram edificadas, conforme o mapa de 1989 representa na figura 11.

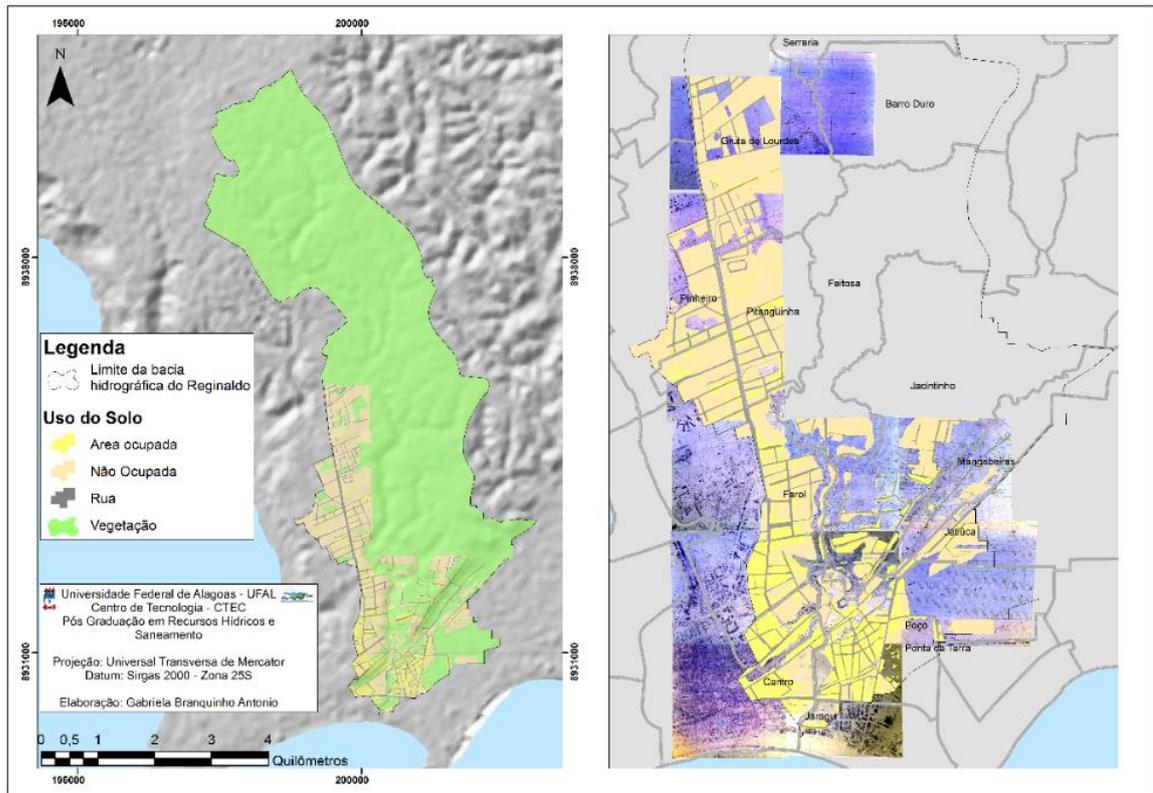
Figura 11. Mapa índice das cartas topográficas utilizadas.



Fonte: Autor (2017)

As áreas correspondentes a parte alta da bacia, não foram mapeadas pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE e pela Prefeitura por não apresentarem ocupação, sendo assim foi feita a suposição de que nesse período essa área ainda apresentava vegetação rasteira (figura 12).

Figura 12. Mapa de uso do solo do ano de 1960.



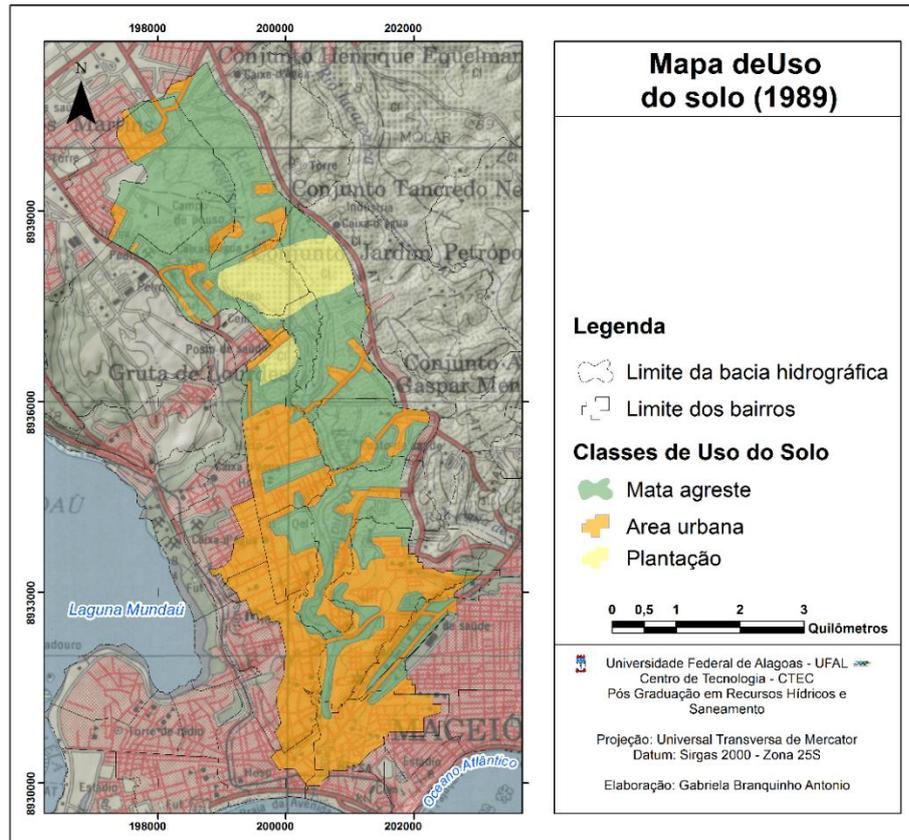
Fonte: Modificado de Faculdade de Arquitetura e Urbanismo –UFAL, (2016)

A figura 13 apresenta o uso do solo do ano de 1989, sendo possível observar o crescimento das áreas edificadas com relação a 1960, onde os loteamentos foram ocupados além de surgirem áreas ocupadas novas.

De acordo com Fernandes (2010), durante a décadas de 1960 a 1980 a bacia do Reginaldo começa a receber ocupação nas áreas encostas e fundos de vale, que se configuram como áreas de risco a deslizamento e inundações, sendo perceptível no mapa de uso do solo de 2011.

A ocupação das áreas de risco, ocorrem devido ao êxodo rural, oriundo da mecanização da agricultura, dessa forma, a cidade passa a receber um aumento expressivo na população, todavia, esse crescimento não é acompanhado pelo planejamento (FERNANDES, 2012)

Figura 13. Mapa de uso do solo do ano de 1989.

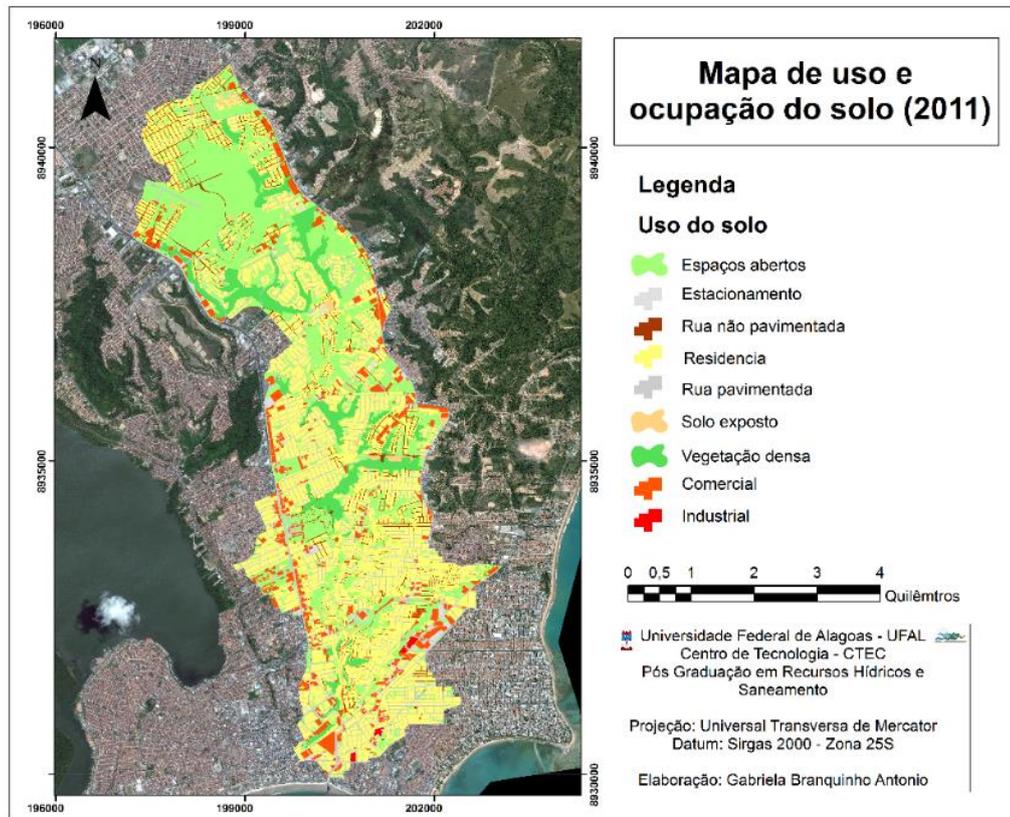


Fonte: Modificado de Instituto do Meio Ambiente - IMA (2016)

Como resultado do rápido crescimento não ordenado, tem-se no cenário atual uma bacia extremamente urbanizada, principalmente nas áreas de risco. De acordo com os setores censitário, em 2010 a bacia contava com uma população de 185.550 habitantes com aproximadamente 19 km² de área impermeável (ruas, estacionamentos, residências, comércios e indústrias) (figura 14) (IBGE, 2010).

Além das transformações do uso do solo que alteram o regime hidrológico da bacia criando problemas de alagamentos e inundações, transformações anteriores como a canalização de canais em diversos pontos da bacia, assim como a retificação da foz do canal intensificam as diversas problemáticas, transferindo os impactos de um ponto para o outro.

Figura 14. Mapa de uso do solo do ano de 2011.



Fonte: Modificado de Prefeitura de Maceió (2011)

De acordo com Fernandes (2010) a alteração na foz do rio Reginaldo, que nesse trecho é denominado riacho Salgadinho, ocorre devido as pressões urbanas já naquela época em 1820, sendo perceptível a perda de extensão do canal (figura 15).

Figura 15. Primeiro esquema de ruas da cidade de Maceió com foco no curso retificado, em laranja, e no curso natural, em azul.

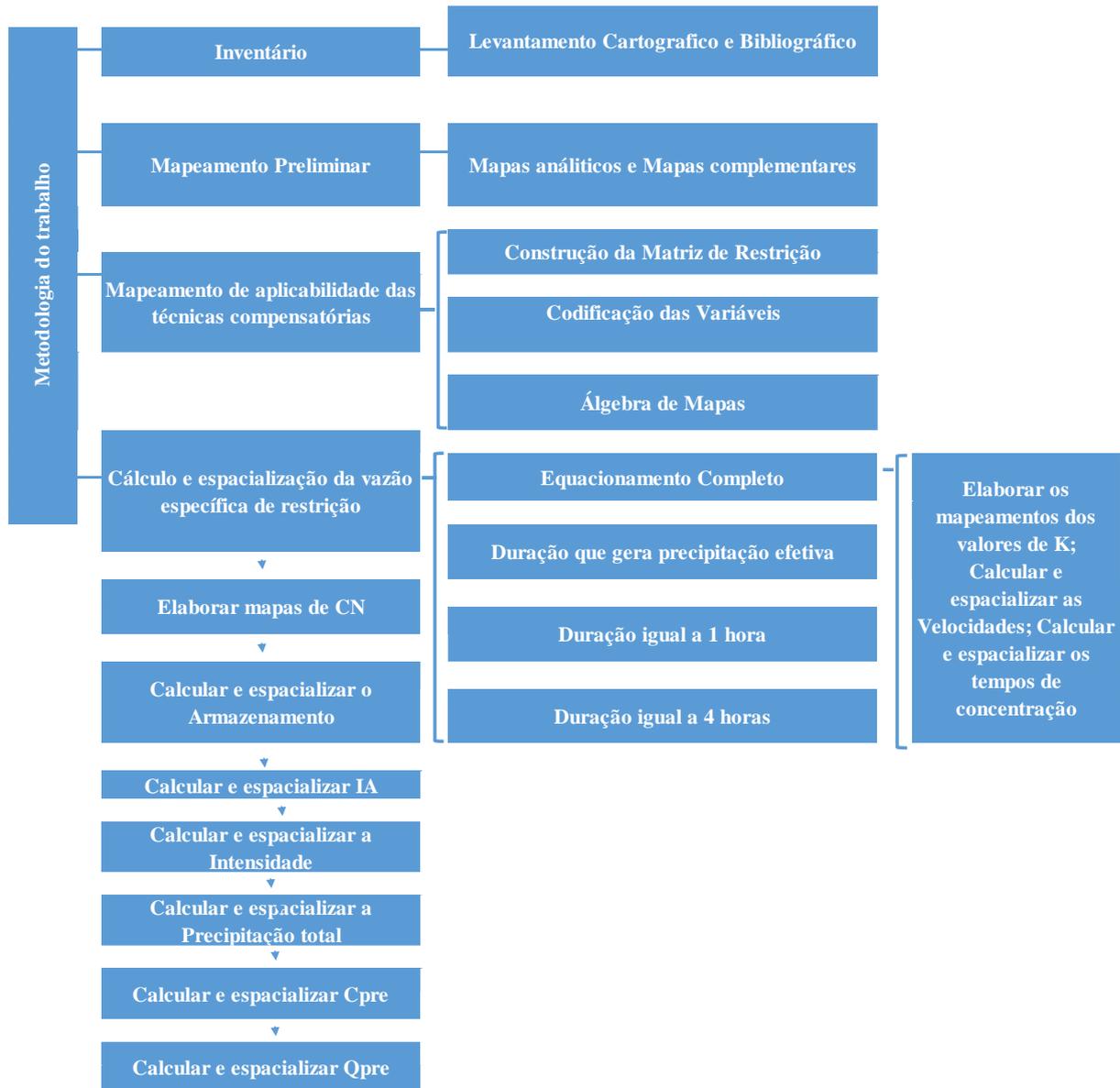


Fonte: Fernandes (2010)

5 METODOLOGIA

A metodologia terá como base o fluxograma abaixo (Figura 16), sendo dividida em 4 etapas: (1) Inventário; (2) Mapeamento preliminar; (3) Mapeamento da aplicabilidade dos dispositivos de controle por infiltração; (4) Mapeamento da vazão de restrição.

Figura 16. Fluxograma da metodologia utilizada.



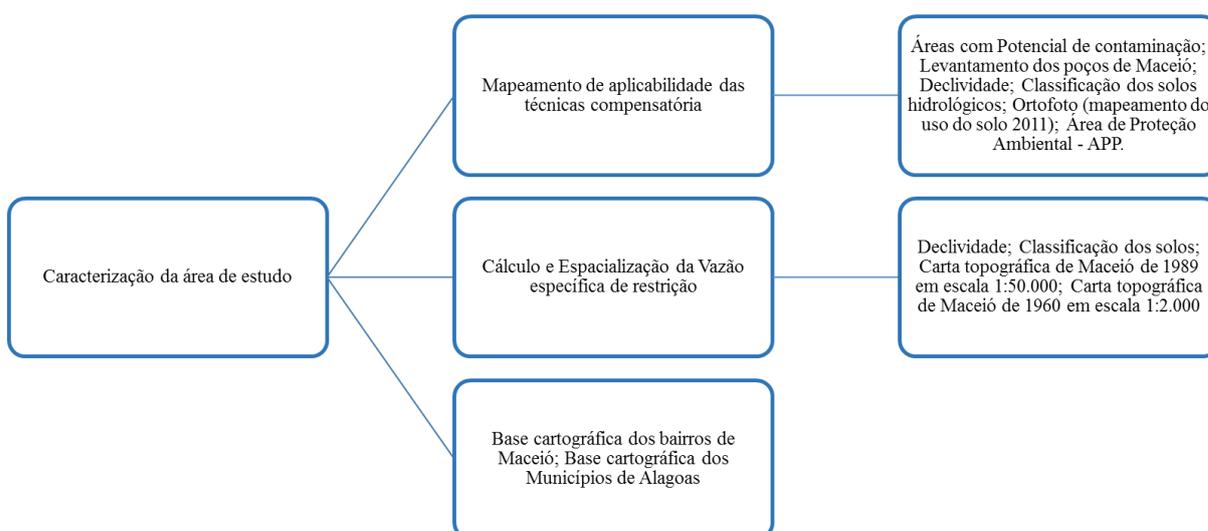
5.1 Inventário

A fase de inventario consistiu em realizar os levantamentos de dados necessários, como o levantamento cartográfico, artigos, teses, dissertações, manuais, livros, dentre outros.

A partir do levantamento bibliográfico, torna-se possível embasar alguns pontos importantes nos mapeamentos de aplicabilidade de técnicas compensatórias e no mapeamento da vazão específica de restrição.

O levantamento de dados cartográficos deu subsídio para a caracterização do uso do solo, mapeamento de aplicabilidade das técnicas compensatórias e para o cálculo e a espacialização da vazão específica de restrição. Os dados utilizados foram agrupados em função das etapas da metodologia (figura 17).

Figura 17. Fonte dos dados utilizadas para a elaboração do trabalho.



Os dados matriciais e vetoriais utilizados sofreram alguns ajustes como a mudança da no sistema de coordenada, alguns dados necessitaram de ser recordados em função da área de estudo, e alguns dados vetoriais foram transformados em matriciais e tiveram o seu tamanho de cédula ajustado.

Os mapas foram elaborados em escala 1:50.000, com sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM) e Datum Sirgas 2000 Zona 25S. O sistema de informações geográfica (SIG) utilizado foi o *software* de geoprocessamento Arcgis 10.3

A caracterização da área de estudo envolveu a elaboração dos mapas de uso do solo de 1960, 1989 e 2011, e a elaboração de mapas complementares e das cartas analíticas.

As cartas utilizadas referentes ao levantamento topográfico para realizar o mapa de uso do solo de 1960 pode ser observado na Quadro 5.

Quadro 4 - Nome e número das cartas topográficas utilização.

Carta Topográfica	Bairro
8	Usineiros
9	Reginaldo - Gruta
12	Fernandes Lima - Quartel Bimtz
18	Fernandes Lima - Farol
19	Reginaldo - Feitosa
26	Fernandes Lima - Farol - Reginaldo
27	Reginaldo - Feitosa
28	Mangabeiras
34	Centro
35	Poço - Farol
36	Poço
42	Jaraguá
43	Praia da Avenida - Salgadinho

Fonte: Autor (2017)

Os mapas complementares elaborados são:

- Solos hidrológicos – foram elaborados cruzando as informações dos dados de solos pedológicos (EMBRAPA, 2005) e com a proposta de classificação dos solos hidrológicos proposta por Sartori et al. (2005); e
- Vulnerabilidade a contaminação do solo – foi elaborado a partir dos dados do projeto HIROREMAC (ANA, 2012) que foram disponibilizados por Silva (2013).

Os mapas analíticos consistem:

- Mapa de declividade – elaborado usando Modelo Digital de Elevação em formato Geotiff (.tiff) do projeto TOPODATA com escala original de 1:250.000; e
- Mapa de nível do lençol freático - elaborado utilizando os dados de poços do projeto SIAGAS da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - (CPRM). A partir das informações Nível Estático - (NE) contidos nos dados vetoriais dos poços foi realizada uma interpolação do tipo Krigagem com esses dados gerando a superfície do lençol freático.

A partir do levantamento de dados cartográficos, foi possível elaborar um pequeno banco de dados, com as informações coletadas e produzidas.

5.2 Mapeamento da aplicabilidade das técnicas compensatórias

O mapeamento da aplicabilidade das técnicas compensatórias biorretenção, trincheira de infiltração, poço de infiltração e pavimento permeável teve como objetivo identificar as áreas que são propícias e não são propícias a instalação dos dispositivos.

Esse mapeamento foi composto de quatro etapas: construção da matriz de restrição, codificação das variáveis através da lógica *Booleana*, reclassificação usando a codificação das variáveis e álgebra de mapas.

5.2.1 Construção da matriz de restrição

A matriz de restrição pode ser entendida como uma relação de parâmetros e suas respectivas variáveis, associados a fatores antrópicos e naturais. A matriz visa orientar a identificação das áreas que são ou não propícias a instalação de técnicas compensatórias, com intuito de selecionar áreas que irão contribuir para o correto funcionamento da técnica e/ou otimização da sua função (MARTIN – MIKLEA et al., 2015).

A elaboração e organização da matriz de restrição considerou os seguintes pontos: a disponibilidade de dados nos bancos de dados de domínio público; elaborar uma matriz de fácil aplicação em outras cidades; e que os critérios selecionados fossem representativos. As restrições selecionadas foram:

- a) Naturais: Altura do lençol freático, tipo de solo hidrológico e declividade;
- b) Antrópicas: vulnerabilidade a contaminação do solo, uso do solo e restrição a ocupação.

De maneira geral, os parâmetros da matriz funcionam de forma binária, “sim/não”, “pode/não pode”. A matriz do manual de São Paulo, usa um sistema de três cores, vermelho são as áreas inviáveis, verde são as áreas viáveis e amarelo são as áreas que podem receber o dispositivo deste que o projeto da técnica sofra uma adaptação para atender à necessidade específica daquele local, para esse grupo de características deu-se a nomenclatura de “específica”.

Cada critério é subdividido, a essa subdivisão deu-se o nome de restrição, essa restrição pode ser positiva ou não a depender de cada dispositivo (Quadro 5), tornando aquela área propícia ou não propícia. Apesar da matriz ser única, a forma com que ela é aplicada varia de acordo com a restrição de cada dispositivo.

Quadro 5 - Matriz de restrição para a análise da aplicabilidade das técnicas compensatórias escolhidas.

Critério	Restrição	Biorretenção	Pavimento Permeável	Poço de infiltração	Trincheira de Infiltração
Profundidade do Lençol Fretático	0 - 1,2 m	Não propício	Não propício	Não propício	Não propício
	> 1,2 m	Propício	Propício	Propício	Propício
Declividade	$S < 1\%$	Propício	Específica*	Específica*	Específica*
	$S < 7\%$	Propício	Propício	Propício	Propício
	$7\% < S < 20\%$	Específica*	Específica*	Específica*	Específica*

Critério	Restrição	Biorretenção	Pavimento Permeável	Poço de infiltração	Trincheira de Infiltração
	S > 20 %	Não Propício	Não Propício	Não Propício	Não Propício
Restrição a Urbanização	Área Restrita	Não Propício	Não Propício	Não Propício	Não Propício
	Área Não Restrita	Propício	Propício	Propício	Propício
Uso do Solo	Residencial	Propício	Propício	Propício	Propício
	Comercial	Específica*	Específica*	Não Propício	Específica*
	Industrial	Específica*	Específica*	Não Propício	Específica*
	Área de vegetação densa	Não Propício	Não Propício	Não Propício	Não Propício
	Área de vegetação baixa	Propício	Propício	Propício	Propício
	Solo exposto	Propício	Propício	Propício	Propício
	Rua Pavimentada	Não Propício	Não Propício	Não Propício	Não Propício
	Rua não Pavimentada	Não Propício	Propício	Não Propício	Não Propício
Vulnerabilidade a poluição	Estacionamento	Propício	Propício	Não Propício	Não Propício
	Não Vulnerável	Específica*	Específica*	Não Propício	Não Propício
Permeabilidade do solo	Vulnerável	Propício	Propício	Propício	Propício
	Solo permeável	Propício	Propício	Propício	Propício
	Solo impermeável	Propício	Propício	Propício	Não Propício

*Restrições específica: o dispositivo precisa sofrer adaptação.

Fonte: Autor (2017)

As restrições específicas são aquelas que apresentam alguma característica que faz com que o dispositivo precise sofrer algum tipo de adaptação para que possa ser instalado.

Em geral, áreas com algum potencial de poluição, como as áreas comerciais e industriais fazem com que o dispositivo necessite de um tipo de geomembrana que consiga impedir a contaminação. Em áreas com declividades muito pequenas, como as menores que 1%, Batista et al. (2005) recomendam que seja realizado uma pequena inclinação.

5.2.2 Codificação das variáveis através da lógica Booleana

A codificação proposta foi uma forma encontrada para representar e identificar a ocorrência das restrições no caso das áreas com restrições específicas e identificar as áreas propícias e não propícias. Inicialmente partiu –se do princípio que poderiam ocorrer somente áreas propícias e não propícias, dessa forma, a codificação funcionaria de forma binária, onde o código 0 representaria as áreas não propícias e o código 1 representaria as áreas propícias.

Entretanto, conforme indicado na literatura, ocorre um terceiro grupo de área, chamada de “Áreas com restrições específicas”, que são representados por um grupo de características que não torna o local não - propício, mas também não o torna propício.

Dessa forma, julgou-se relevante que os códigos contemplassem a identificação de cada grupo de restrição específicas. Sendo assim, foi entendido que poderiam ocorrer três possibilidades de áreas na bacia:

- Áreas propícias (com condições de aplicabilidade), que se constituem em áreas que as variáveis não restringem a implantação;
- Áreas não propícias (sem condições de aplicabilidade), que se constituem em áreas que as variáveis restringem a implantação; e
- Áreas com restrições específicas (condição de aplicabilidade condicionada), representam o grupo de restrições que condicionam a implantação do dispositivo, de maneira que a técnica compensatória tenha que receber algum tipo de adaptação, em geral, associada a declividade de fundo e geomembrana.

Sendo assim, foi necessário expandir a codificação que pode ser observada na Quadro 6. A primeira coluna indica os códigos que variam de 0 a 7, a segunda coluna indica as classes de áreas que podem ocorrer, a área/classe de restrições especiais é representada pelo seu conjunto de características e a terceira coluna mostra os significados de cada área, como são compostas.

Quadro 6 - Codificação das possíveis classes dos critérios e restrições das variáveis.

Código	Classe de áreas	Significado
0	Não propícia	Áreas não propícias devido a presença de uma ou mais características que inviabilize a instalação do dispositivo
1	Propícia	Áreas propícias a implantação do dispositivo
2	Restrição em função da ocupação (indústria)	Restrições que não inviabilizam a implantação deste que o projeto do dispositivo sofra adaptações para atender as condições específicas
3	Restrição em função da ocupação (comércio)	
4	Restrição em função da declividade (DE menor que 1%)	
5	Restrição em função da declividade (variando de 7 – 20%)	
6	Restrição em função da vulnerabilidade	
7	Restrição em função da ocupação (ruas)	

Fonte: Autor (2017)

Cabe ressaltar que os códigos usados têm a função de representar as classes, não foram usados para agregar pesos as restrições ou média ponderada. A codificação numérica crescente foi adotada de forma que cada número fosse um tipo de restrição. Com a codificação, as restrições foram aplicadas para cada dispositivo, gerando uma matriz com uma coluna com os

critérios, outra com as restrições e mais quatro colunas, contendo a codificação do dispositivo x a restrição (Quadro 7).

Quadro 7 - Codificação dos critérios e restrições das variáveis analisadas.

Critério	Restrição	Biorretenção	Pavimento Permeável	Poço de infiltração	Trincheira de Infiltração
Profundidade do Lençol Freático	0 - 1,2 m	0	0	0	0
	> 1,2 m	1	1	1	1
Declividade	S < 1%	1	4	4	4
	S < 7 %	1	1	1	1
	7 % < S < 20%	5	5	5	5
	S > 20 %	0	0	0	0
Restrição a Urbanização	Área Restrita	0	0	0	0
	Área Não Restrita	1	1	1	1
Uso do Solo	Residencial	1	1	1	1
	Comercial	3	3	0	3
	Industrial	2	2	0	2
	Área de vegetação densa	0	0	0	0
	Área de vegetação baixa	1	1	1	1
	Solo exposto	1	1	1	1
	Rua Pavimentada	0	0	0	0
	Rua não pavimentada	0	1	0	0
Vulnerabilidade a poluição	Estacionamento	1	1	0	0
	Não vulnerável	6	6	0	0
Permeabilidade do solo	Vulnerável	1	1	1	1
	Solo permeável	1	1	1	1
	Solo impermeável	1	1	1	0

Fonte: Autor (2017)

A partir da codificação adotada na Quadro 7, foi necessário atribuir esses códigos a dados matriciais, esse processo se deu através da reclassificação que consistiu em agrupar os valores dos dados matriciais originais em função das restrições adotadas.

Dessa forma, a reclassificação e a codificação tiveram como objetivo, converter os dados nominais (classes de solos hidrológicos, uso do solo, permeabilidade, restrição a ocupação e vulnerabilidade ambiental) em valores numéricos.

5.2.3 Álgebra de mapas utilizando a função Condicional

Álgebra de mapas é uma metodologia que trabalha com dados espacializados, produzindo novas informações a partir de um conjunto de expressões matemáticas, que podem ser agrupadas em três segmentos, pontuais, vizinhança e zonais (BARBOSA et al., [S/D])

A lógica Booleana, está associada basicamente a uma condição de verdadeiro ou falso, realizado através da comparação de dois valores ou duas condições. Essa comparação é feita através dos operadores booleanos de comparação (ELKNER, 2009).

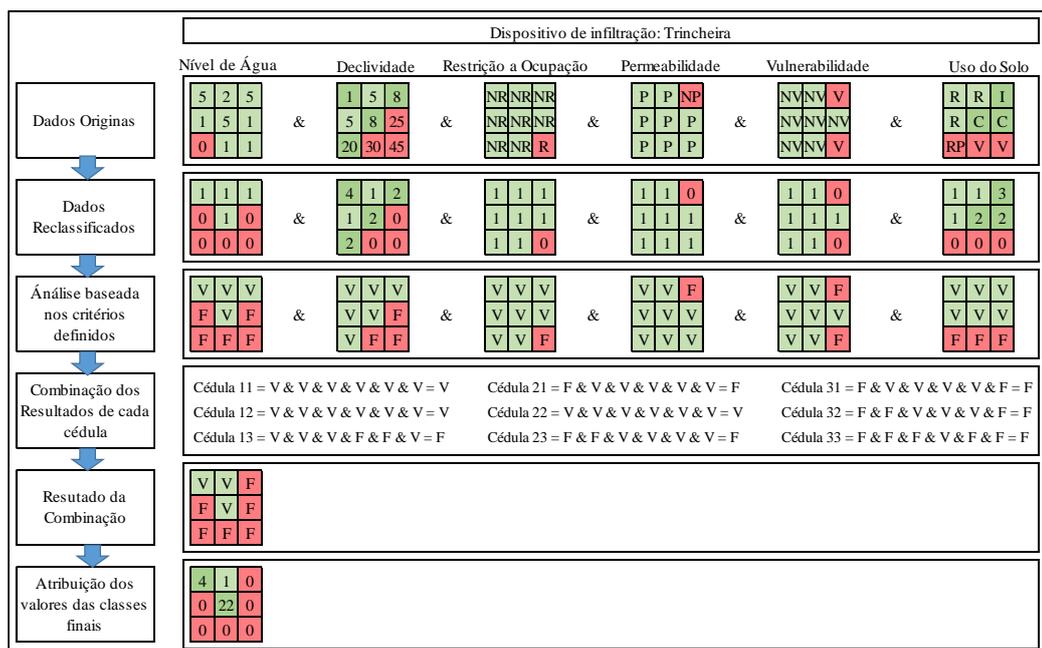
A álgebra de mapas a partir da função *con* foi trabalhada através da programação em *python* devido a sua integração com *softwares* de SIG, como o Arcgis e o Qgis (livre).

A álgebra de mapas que foi realizada possui limites bem definidos, dessa forma, foi utilizado o critério de verdadeiro ou falso, para identificar a qual possibilidade aquele conjunto de dados pertence (NASCIMENTO et al., 2009; SILVA et al., 2011; ARAGÃO et al., 2015).

A álgebra de mapas utilizou o operador booleano ($==$) e a função de atribuição condicional (*con*), que geralmente são usadas junto a operações Booleanas. De acordo com Barbosa et al. [S/D], as operações pontuais, independem dos valores dos pixels vizinhos, ou seja, os *pixels* vizinhos não interferem no *pixel* que está sendo analisado, são exemplos as operações matemáticas e lógica booleana.

A função condicional, visa testar se condições são verdadeiras ou falsas, controlando o valor de saída de cada célula com base na avaliação da combinação dos resultados de cada célula. Caso a condição descrita seja verdadeira, será atribuído um valor, que no caso do presente trabalho varia de 1 a 7, e caso a condição exposta for falsa, é atribuído o valor 0. A Figura 18 mostra o funcionamento do código elaborado utilizando os critérios adotados para a trincheira.

Figura 18 – Funcionamento da Função condicional, na linguagem python, para a definição de áreas propícias, não propícias e com restrições para a instalação do poço de infiltração.



*NV – Não permeável/ *NR – Não restrito/ *R – Restrito/ *I – Industrial/ *C – Comercio/ *V - Vulnerável
 *RP – Rua Pavimentada
 Fonte: Autor (2017)

Essa função permite que, baseado nos critérios definidos na Quadro 7, realize-se uma avaliação de cada pixel com base nos critérios escolhidos e se defina a aplicabilidade de um determinado dispositivo naquele local. Caso seja identificado uma das combinações de valores definidas no código, ou seja, combinações de características que permitem a escolha do dispositivo, são atribuídos valores que correspondem as classes apresentadas na Quadro 6. A não identificação das combinações leva o código a atribuir o valor zero, que corresponde a classe de não propícia, fazendo que o método de verificação da aplicabilidade seja bastante restritivo quanto a identificação de áreas propícias.

Além disso, ao utilizar o sistema de códigos associado a ferramenta criada, utilizando os códigos foi possível identificar não somente áreas propícias e não propícias, mas cada restrição das áreas com condições específicas, dessa forma, caso seja do interesse, a possibilidade de criar projetos de dispositivos adaptados a essas condições específicas é facilitada.

A partir das três possibilidades foi idealizado três cenários para cada tipo de dispositivo, sendo eles:

- Cenário para o Mapa tipo 1: apresentando as áreas propícias, não propícias e as áreas de restrições específicas;
- Cenário para o Mapa tipo2: cenário mais restritivo seria considerar as áreas de restrições específicas como áreas não propícias; e
- Cenário para o Mapa tipo 3: cenário menos restritivo seria considerar as áreas de restrições específicas como áreas propícias.

5.3 Vazão de restrição específica pelo método racional

A vazão específica de restrição (qpre) foi obtida através do método Racional, utilizando a equação 1:

$$Q = 0,278. C. I. A \quad \text{Eq. 1}$$

Onde: C é o coeficiente de escoamento; I é a intensidade da chuva em mm/h para a duração igual ao tempo de concentração da bacia; A área da bacia hidrográfica em k

Para a obtenção de qpre foi necessário encontrar o coeficiente de escoamento pré – urbanização, a intensidade da precipitação e a área.

O coeficiente de escoamento pré – urbanização (C_p) representa o volume de escoamento superficial em um período da bacia de menor urbanização. É encontrado através do método *Curve Number* (CN) que varia em função dos solos hidrológicos e do uso e cobertura do solo (USDA, 1986). O C_p pode ser encontrado através da equação 2.

$$C_p = \left[\frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \right] \cdot \frac{1}{P} \quad \text{Eq. 2}$$

Para o cálculo de C_p são necessários dois parâmetros de entrada, a precipitação total (P) em mm, e o Potencial de armazenamento do solo (S) também em mm.

A precipitação total do evento é obtida pela equação 3 (TUCCI, 2000):

$$P = I \cdot t_c \quad \text{Eq. 3}$$

Para a determinação da precipitação total do evento é necessário antes encontrar o tempo de concentração que nesse caso será adotado como o tempo de viagem em minutos e a Intensidade da precipitação (mm/h) obtida pela curva IDF (Intensidade – duração – frequência) de Maceió de Denardin e Freitas (1982).

A duração da chuva dependente do comprimento (L) em metros e da velocidade do escoamento (V) em m/s. O comprimento adotado para esse trabalho foi o tamanho da cédula do *raster* de declividade em função da sua resolução espacial. O tempo de concentração foi calculado utilizando a direção de fluxo unidirecional (equação 4).

$$t_c = L/V \quad \text{Eq. 4}$$

A velocidade do escoamento (m/s) é obtida através da declividade (%) e o coeficiente adimensional K que varia com o do uso do solo utilizando a equação 5.

$$V = K \cdot S^{0,5} \quad \text{Eq. 5}$$

Para o presente trabalho foram adotados dois valores para o coeficiente adimensional K, sendo eles, 0,2 para vegetação rasteira e 0,61 para áreas ocupadas.

O potencial de armazenamento do solo é encontrado utilizando a equação 6:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Eq. 6}$$

O valor de CN da bacia referente ao uso do solo e seus respectivos grupos de solos hidrológicos pode ser observado na Quadro 8.

A intensidade da precipitação é a relação entre a altura pluviométrica e a duração da chuva, expressa em mm/h. Foi utilizada a da curva IDF adotada por Denardin e Freitas (1982) para a cidade de Maceió (equação 7):

$$I = \frac{274,09 \cdot TR^{0,28}}{(t + 6)^{0,56}} \quad \text{Eq. 7}$$

Após o cálculo da precipitação, é necessário aplicar a condição do SCS para verificar se a equação de qpre será válida ou não em função das perdas iniciais (Ia) (equação 8).

$$Ia = \frac{S}{5} \text{ ou } Ia = 0,2.S \quad \text{Eq. 8}$$

Quando as taxas das perdas iniciais são maiores que a precipitação $Ia > P$, então $Q = 0$.

Quando $Ia < P$, P a equação é válida.

Quadro 8 - Valores de CN para áreas urbanizadas

Descrição da cobertura		Valores de CN para os grupos hidrológicos de solo			
Tipo de cobertura e condição hidrológica	Percentual médio de área impermeável ²				
		A	B	C	D
Áreas completamente desenvolvidas (vegetação estabelecida)					
Espaços abertos (gramados, parques, campos de golfe, cemitérios, etc.) ³ :					
Condições pobres (cobertura de gramíneas ou capim em menos de 50%)		68	79	86	89
Condições razoáveis (cobertura de gramíneas ou capim entre 50% e 75%)		49	69	79	84
Condições boas (cobertura de gramíneas ou capim em mais de 75%)		39	61	74	80
Áreas impermeáveis:					
Lotes de estacionamentos pavimentados, telhados, calçadas, etc.		98	98	98	98
Ruas e estradas:					
Pavimentado; meios fios e galerias de águas pluviais		98	98	98	98
Pavimentado; valas abertas		83	89	92	93
Cascalho		76	85	89	91
Sujeira, poeira		72	82	87	89
Distritos urbanos:					
Comerciais e de negócios	85	89	92	94	95
Industriais	72	81	88	91	93
500 m ² ou menos (moradias)	65	77	85	90	92
1.000 m ²	38	61	75	83	87
1.350 m ²	30	57	72	81	86
2.000 m ²	25	54	70	80	85
4.000 m ²	20	51	68	79	84
8.000 m ²	12	46	65	77	82
Áreas urbanas em desenvolvimento					
Áreas recém valorizadas (áreas permeáveis somente, sem vegetação) ⁴		77	86	91	94

¹ Condições médias de escoamento superficial e $I_a = 0,2.S$

² O Percentual médio de área impermeável mostrado foi usado para desenvolver os valores compostos de CN. Outras idealizações: áreas de drenagem diretamente conectadas ao sistema de drenagem, áreas impermeáveis tem o valor de CN igual a 98, e áreas permeáveis são consideradas equivalentes a espaços abertos em boas condições hidrológicas. Valores de CN para outras combinações de condições podem ser computadas usando as figuras 2-3 ou 2-4 do manual TR-55.

³ Os valores de CN mostrados são equivalentes aqueles de pastagem. Valores compostos de CN podem ser calculados para outras combinações de tipos de cobertura de espaços abertos.

⁴ Valores compostos de CN para uso em projetos de medidas temporárias durante a valorização e construção deveriam ser calculados usando as figuras 2-3 ou 2-4 do manual TR-55 baseados no grau de desenvolvimento (porcentagem de área impermeável) e nos valores de CN para as áreas permeáveis recém valorizadas.

Fonte: Adaptado de USDA, 1986

5.3.1 Cálculo e espacialização da vazão de restrição específica por célula

O cálculo e a espacialização da vazão de restrição foi realizado para o ano de 1960, utilizando as cartas topográficas de Maceió que fizeram parte do levantamento realizado pela SUDENE e pela Prefeitura.

Todas as etapas de cálculo foram automatizadas, os equacionamentos foram escritos em formato de *scripts* em *python* para que o cálculo fosse realizado dentro do SIG Arcgis 10.3, gerando os resultados de forma já especializada.

Para a determinação da vazão da bacia do rio Reginaldo, foram utilizados basicamente os seguintes passos:

- a) Todos os tipos de solo do método SCS e CN representativos;
- b) A área de drenagem se restringiu a 30 m² (área do pixel);
- c) Curva IDF de Maceió (DERNDIN e FREITAS, 1982), usando o tempo de retorno igual a 10 anos;
- d) Cálculo do tempo de concentração (t_c) adotado foi igual ao tempo de viagem, isto é, $t_c = L/v$, onde L é comprimento ficando igual a 30 m; e
- e) A velocidade do escoamento na superfície dada por $v = k \cdot S^{0,5}$, onde o valor de k depende da cobertura do solo e S é a declividade em %.

O cálculo da vazão foi realizado utilizando quatro durações, que serão vistas a seguir: equacionamento completo: método cinemático (simplificação da equação de Manning), método racional, onde a duração é calculada, e duração que gera precipitação efetiva, duração igual a hora e duração igual a 4 horas.

A duração da chuva igual a 1 hora foi utilizada por ser um tempo de duração amplamente utilizado por TUCCI (2000;2001). Já a duração igual a 4 horas foi utilizada por ter sido apontada como a duração ideal para a cidade de Maceió de acordo com Vidal (2012).

Equacionamento Completo: Método cinemático e Método Racional

Para o primeiro método de cálculo foram utilizados o método cinemático e o método racional, essa etapa foi chamada de equacionamento completo, todos os dados e todas as equações foram calculadas através de *scripts* escritos em linguagem *python*, e executados em um SIG. As etapas de trabalho seguiram a seguinte ordem:

- a) Mapeamento do *uso do solo*;
- b) Espacialização dos *valores de CN*, através de uma função condicional utilizando como dados de entrada o *uso do solo* e os *solos hidrológicos*;
- c) Cálculo do *potencial do armazenamento* na bacia do rio Reginaldo (equação 4);
- d) Determinação do *coeficiente adimensional K*, a partir do uso do solo;

- e) De posse dos valores de K, esses dados foram especializados na bacia a partir de uma função de *reclassifica* e posteriormente a função *condicional*. Para cada uso do solo era atribuído o *valor de K respectivo*;
- f) A partir do coeficiente K era possível calcular a *velocidade* do escoamento (equação 7);
- g) Com os dados de velocidade, foi calculado o *tempo de viagem (tc)*, utilizando o a equação 6, onde o comprimento adotado foi com *comprimento da cédula (30 m)*;
- h) Foi então calculado a *intensidade da duração da chuva*, para o *tempo de retorno de 10 anos*, utilizando a equação proposta por Denardin e Freitas (1982) (equação 9);
- i) Através dos valores de tc e da intensidade, foi calculada a *precipitação total* utilizando a equação 5;
- j) Chegando nesse ponto, deve-se aplicar a condição estabelecida pelas perdas iniciais. Primeiramente as *perdas iniciais* são calculadas usando a equação 3, e depois a partir de uma condicional, é aplicado seguinte condição: $Ia > P$, então $Q = 0$. Quando $Ia < P$, P a equação é válida.
- k) Quando a condição é válida, é calculado o *coeficiente de escoamento pré urbanização (Cp) cpre* (equação 2); e
- l) A partir de cpre, é calculado *qpre*, usando a equação 1.

Como será mostrado no item de resultados, esse primeiro método gerou um mapa muito restritivo porque ocorreram valores de duração da chuva muito pequenas, de modo que os valores de precipitação calculados pela equação 5 foram tais que não geraram precipitação efetiva, devido às abstrações iniciais calculadas pela equação 3.

Duração que gera precipitação efetiva

O cálculo de *qpre* utilizando uma duração que irá gerar uma precipitação superior as perdas iniciais e consequentemente gerar escoamento superficial. Nessa etapa, não é usado o método cinemático, pois iniciam-se os cálculos a partir da duração.

Essa etapa foi primeiramente realizada fora do ambiente de geoprocessamento com os passos seguintes:

- a) A partir dos valores de CN da bacia, são calculados as perdas iniciais e o armazenamento;
- b) Em seguida, estabelece-se as durações, e calculado – se a intensidade da duração da precipitação e a precipitação total;

- c) Tendo esses dados, para cada valor de CN e para cada duração, é calculado a diferença $P - I_a$;
- d) A duração da precipitação que gera a precipitação efetiva foi calculada a partir da diferença entre a precipitação total e as perdas iniciais para cada CN. A duração selecionada foi aquela que apresentou o primeiro valor positivo da diferença entre $P - I_a$; e
- e) Selecionadas as durações, calcula-se então o $cpre$ e $qpre$. Não há necessidade de aplicar a condicional de $I_A > P$, pois a duração definida, é a que vai gerar o escoamento.

Para essa etapa, os valores foram primeiramente calculados em planilha e posteriormente calculados dentro do SIG.

As durações foram especializadas usando o *raster* do CN como base. Isso porque, a precipitação efetiva foi calculada para cada valor de CN que ocorre na bacia, dessa forma, entende-se que para um determinado CN é necessária uma determinada duração, e essa duração vai variar em função do CN devido a sua maior ou menor potencial de armazenamento.

Sendo assim, foi criada uma função condicional, onde para cada valor de CN a função deve atribuir a duração previamente determinada. Os demais passos foram calculados como mostra os passos h, i, k e l da etapa do equacionamento completo.

Duração igual a 1 hora

Foi adotado o tempo de concentração igual a 1 hora, como recomendado por Tucci (2000), visando entender como a precipitação, intensidade, $cpre$ e $qpre$ iriam se comportar usando essa preposição já aceita na literatura.

Da mesma forma que ocorreu na etapa anterior, foram dispensadas as etapas de cálculo do método cinemático, utilizando somente da intensidade a diante. Todavia, diferente da etapa anterior, é necessário que seja aplicado a condição das perdas iniciais.

Essa etapa também foi primeiramente realizada fora do ambiente de geoprocessamento e posteriormente no SIG. Para o cálculo no usando o *python* não foi necessário calcular a intensidade e a precipitação, porque não havia nenhum dado espacializado para que o produto de saída fosse um *raster*.

Isso porque o único dado de entrada da intensidade é o t_c , que no caso foi definido como 1 hora, não estando associado a nenhum dado especializado. Diferente de quando ele é calculado usando as outras variáveis. Da mesma forma, ocorre com a precipitação, onde os dados de entrada são intensidade e t_c .

Sendo assim, foi calculado I_a , de modo que este sendo especializado, foi aplicado a condicional, onde de I_a fosse maior que a precipitação seria atribuído o valor 0, e caso contrário seria então associado o valor da própria precipitação. E posteriormente, calculado c_{pre} e q_{pre} normalmente.

Duração igual a 4 horas

A execução do tempo de concentração igual a 4 horas foi a mesma usada para o tempo de concentração igual a uma hora. A duração de quatro horas foi usada por ser próximo do tempo de concentração da bacia do rio Reginaldo, estimado por Vidal (2012).

Foram também calculados outras q_{pre} s para outros tempos de concentração, entretanto, esses resultados não foram espacializados.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Mapeamento da aplicabilidade de dispositivos de infiltração

A seguir são mostrados os mapas resultantes da aplicação da metodologia proposta. Eles são apresentados por dispositivo de infiltração: biorretenção, pavimento permeável, poço de infiltração e trincheira de infiltração.

A partir da análise das características da bacia hidrográfica e de matrizes de restrições, foi possível chegar a alguns critérios e restrições que podem servir de instrumentos balizadores para estudos preliminares visando a indicação das áreas propícias para a implantação das técnicas compensatórias citadas.

Os critérios e restrições trabalhados foram discutidos por: Urbonas e Stahre (1993), Manual de BMP's de New Jersey (2004), Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2005), Batista et al. (2005), (MASSDEP, 2008), Handbook (2011), SMDU (2012), CAPUTO (2012), *The Manual SUDS* (2015), KATSIFARAKIS et al. (2015), Guia de Desing para Pavimento Permeável da Califórnia (2014) e Melo et al. (2016).

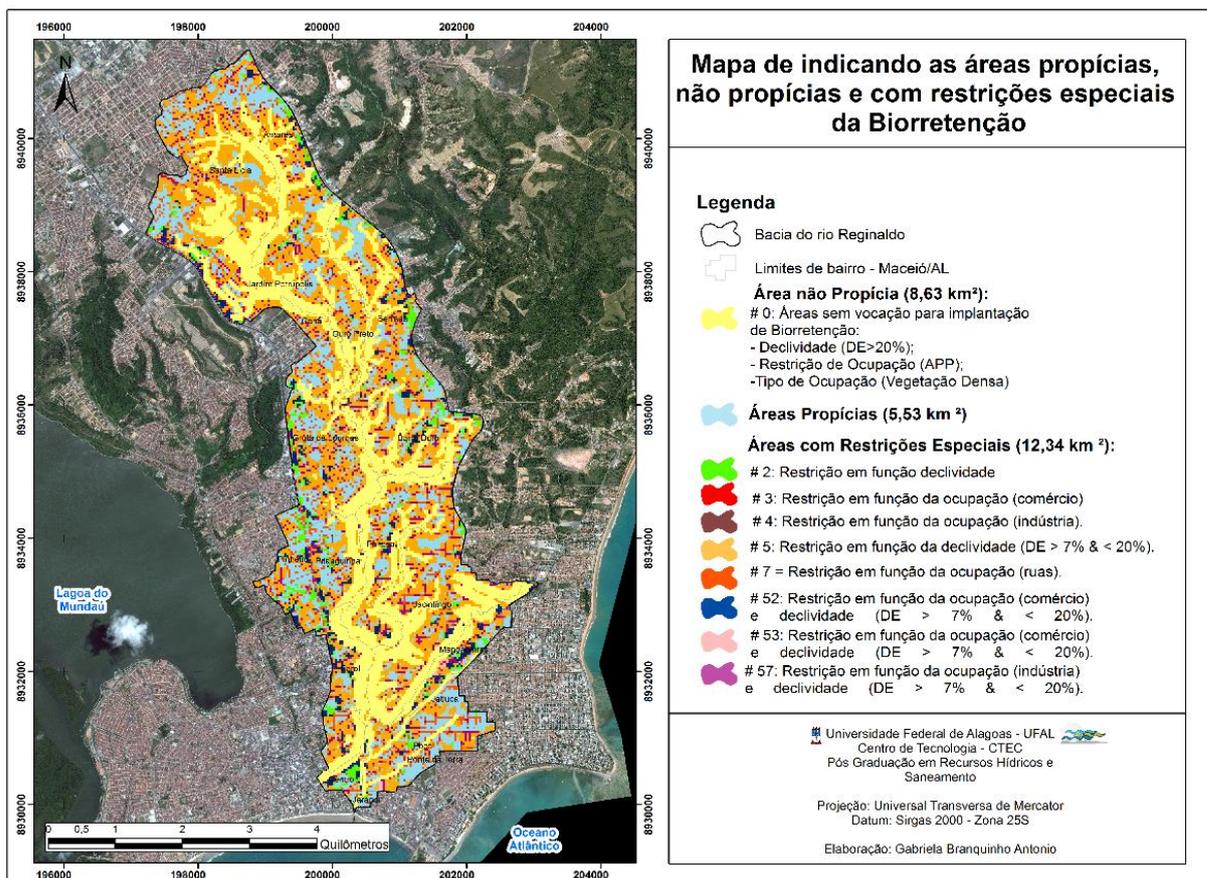
6.1.1 Biorretenção

Conforme Figura 19, a biorretenção apresentou 5,53 km² de áreas propícias à instalação (20,87%), 8,63 km² de áreas não propícias (32,57%) e 12,34 km² (46,57%) de áreas cuja as características condicionam o projeto do dispositivo a adaptações para atender as condições do local (figura 18).

Os lugares onde as restrições especiais são mais presentes estão associadas ao uso do solo comercial ou industrial, e as declividades menores que 1% e entre 7% - 20%. O uso comercial ou industrial são restrições especiais pois podem apresentar potencial poluidor, principalmente as áreas industriais, portanto, para que uma biorretenção seja instalada, é necessário que a estrutura do dispositivo seja adaptada para essas situações.

As áreas não propícias ocorreram sobretudo nas áreas de grotas que correspondem às encostas do vale do rio Reginaldo, devido principalmente a declividade acentuada, com inclinação superior a 20%, que de acordo com Batista et al. 2005 e Massachusetts Stormwater Handbook (2008, v.2), não são indicadas para instalação. Já o *New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual* (Blick et al., 2004), indica a declividade máxima igual a 10 %.

Figura 19. Mapa tipo 1 para biorretenção.

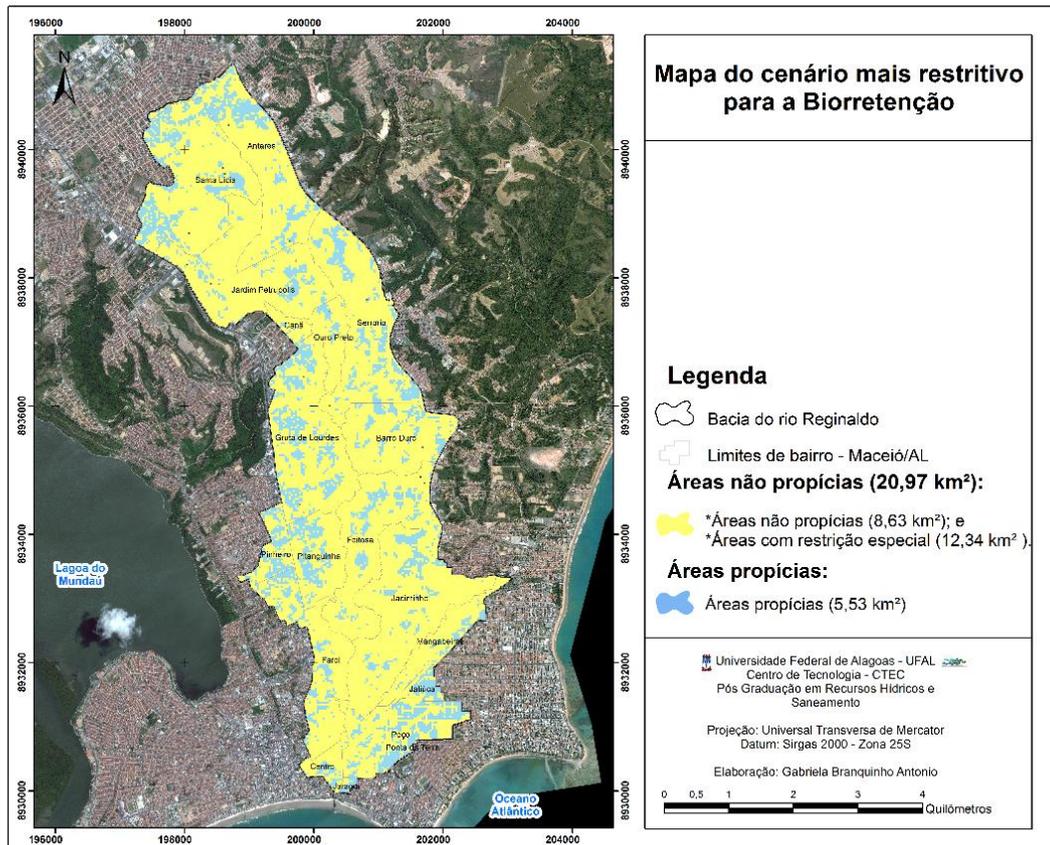


Fonte: Autor (2017)

Outras restrições também contribuíram para a indicação das áreas não propícias, sendo elas: os solos que compreendem o entorno no rio são pouco permeáveis, logo com baixas taxas de infiltração, sendo pertencentes aos grupos C e D, e as áreas de proteção ambiental do entorno no rio (30 m).

O mapa tipo 2 é constituído pela soma das áreas não propícias e das áreas com restrições especiais, dessa forma, a bacia seria constituída por uma grande área que não é propícia. Esse cenário desconsidera a possibilidade de que qualquer adaptação possa ser feita, sendo assim, as áreas propícias se manteriam as mesmas, e as não propícias nesse cenário totalizaram uma área de 79,13% da bacia.

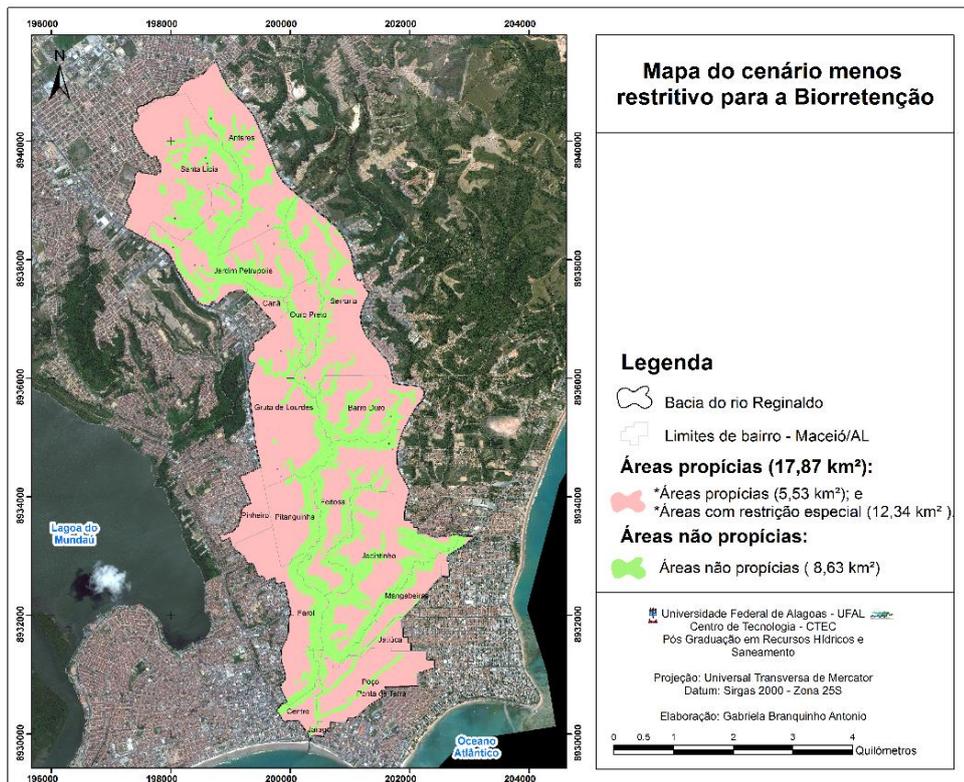
Figura 20. Mapa tipo 2 para biorretenção.



Fonte: Autor (2017)

No mapa tipo 3 está na Figura 21, o total de áreas nas quais podem ser incentivados os usos dos dispositivos é de 67,43 %, que correspondem as áreas que apresentaram as restrições especiais.

Figura 21. Mapa tipo 3 para biorretenção.



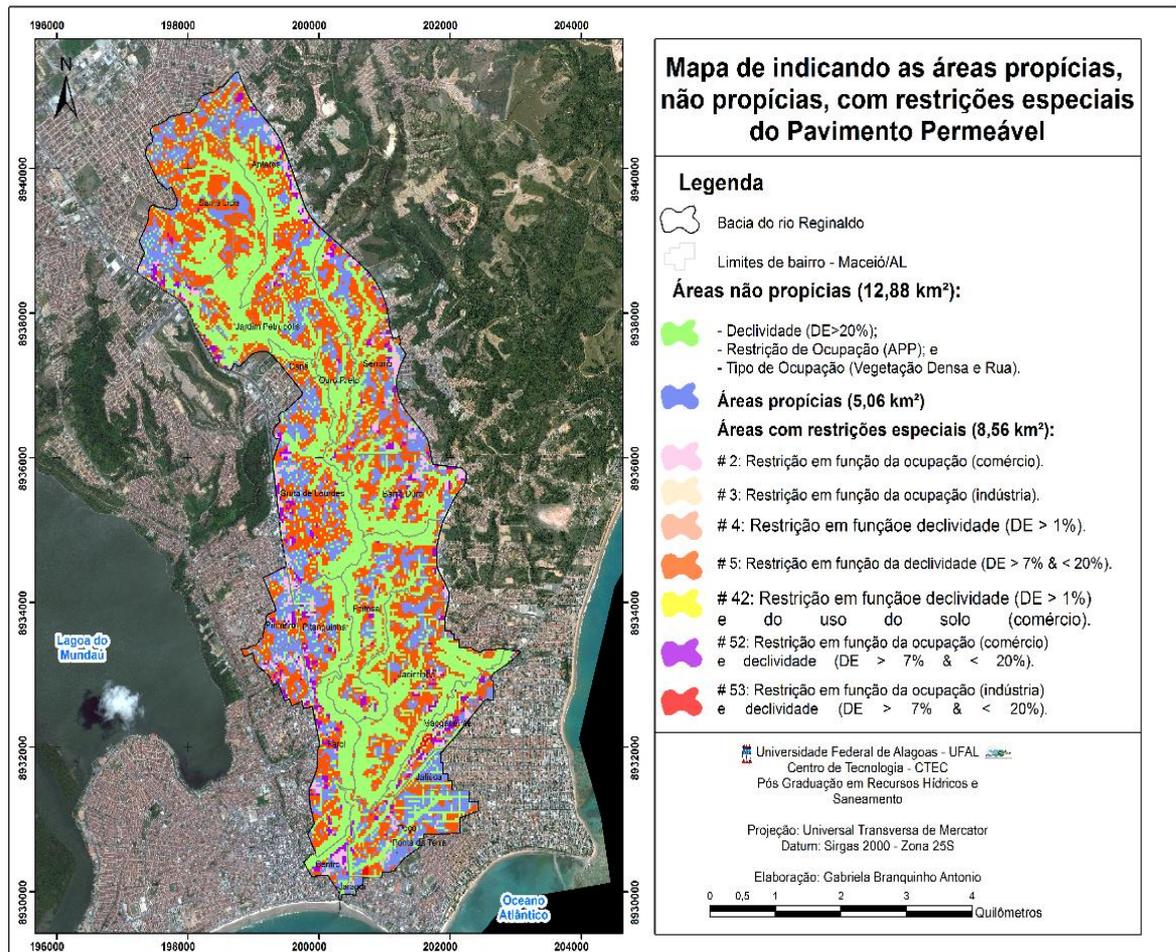
Fonte: Autor (2017)

Os três mapas mostram que, dentre os condicionantes e restrições apresentadas na matriz de restrições, as declividades mais acentuadas foi a restrição que exerceu maior influência na delimitação das áreas não propícias, juntamente com as áreas de APP que coincide com os limites das regiões de altos declives.

6.1.2 Pavimento Permeável

O pavimento permeável vem se mostrando uma alternativa interessante pela sua possibilidade de aplicação em estacionamentos, ciclovias, calçadas e ruas que tenham tráfego com baixa intensidade. Na bacia do Reginaldo, a metodologia resultou em um total de área propícia para o pavimento permeável de 5,06 km² (19,09%), as áreas não propícias de 12,88 km² (12,88%) e com condições especiais 8,56 km² (32,30%), conforme o mapa tipo 1 da Figura 22.

Figura 22. Mapa tipo 1 para pavimento permeável.



Fonte: Autor (2017)

Dentre as restrições que delimitaram as áreas não propícias, tem - se:

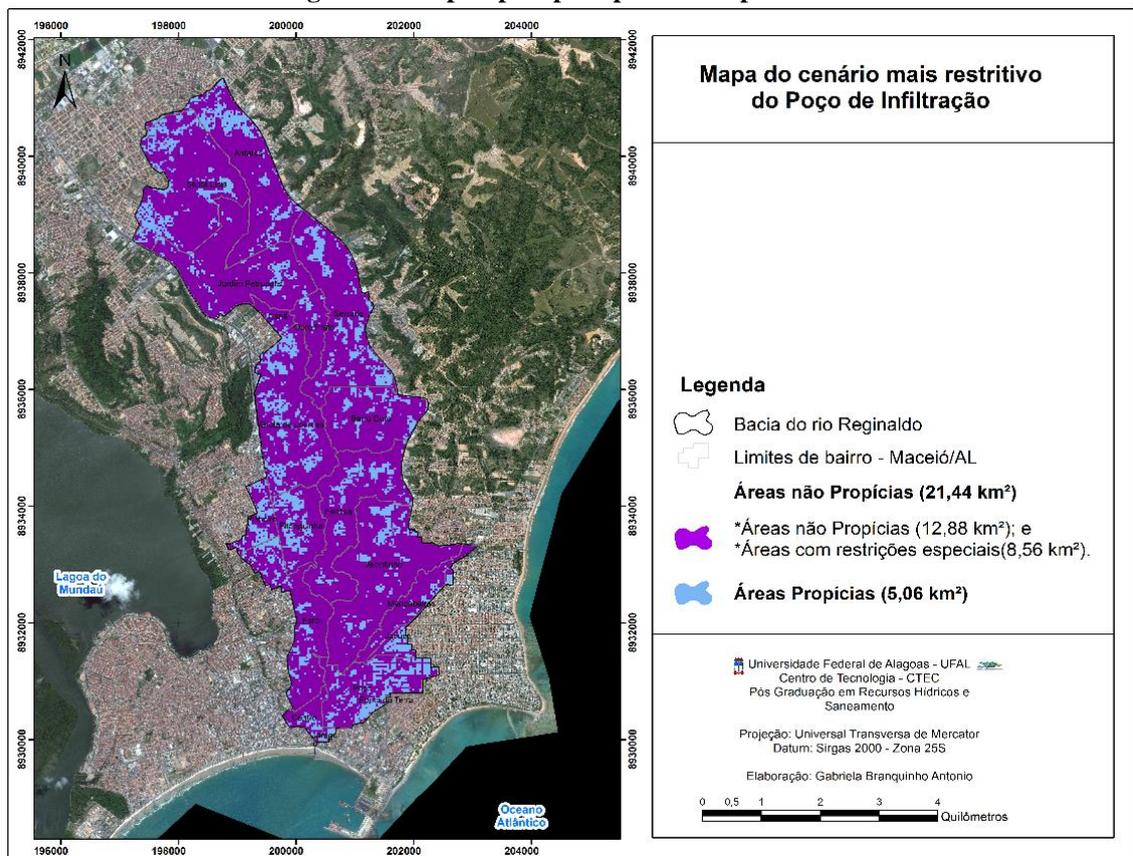
- Ruas pavimentadas isso porque os pavimentos permeáveis não devem ser implantados em áreas de tráfego intenso, logo, para que pudesse ser realizada a troca do pavimento impermeável para o permeável, além do custo, deveria ser realizado uma análise com a intensidade do tráfego nas ruas.
- As áreas de vegetação e de APP, são áreas que devem ser preservadas, portanto não podem sofrer intervenções que possam reduzir suas áreas florestadas.
- Declividades com inclinação superior a 20 %, não são indicadas pois tendem a apresentar altas taxas de velocidades de escoamento, dessa forma, a taxa de infiltração é reduzida.

Alguns critérios, apresentaram certa dificuldade de serem trabalhados, como a declividade. Batista et al. (2005), aponta de maneira geral, que dispositivos de infiltração não devem ser colocados em declividades com inclinações menores que 1 % e em áreas com declividades entre 7 % a 20 %, e aponta essas áreas como de restrição especial.

O Guia de Desing para Pavimento Permeável da Califórnia (2014) e o *New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual* (BLICK et al., 2004) sugerem que os pavimentos não sejam colocados em áreas com declividades superiores a 5% de inclinação, não fazendo qualquer menção a declividades mínimas ou intermediárias. O *The SuDS Manual* (2007), não faz referência a declividades que são ou não passíveis de serem implantados, faz somente uma recomendação dizendo que não devem ser instalados em topos de encostas.

Em um cenário mais restritivo, as áreas não propícias são de aproximadamente 21,44 km² (80,91%), conforme o mapa tipo 2 da Figura 23.

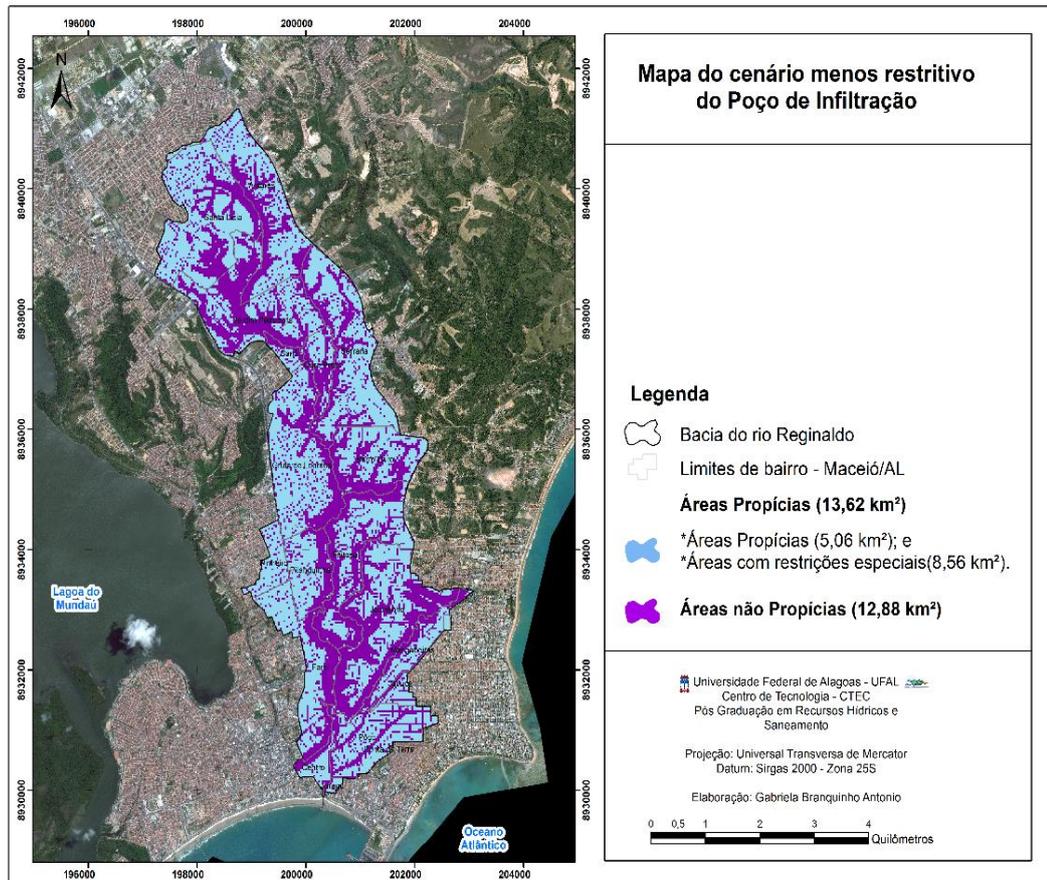
Figura 23. Mapa tipo 2 para pavimento permeável.



Fonte: Autor (2017)

A Figura 24 mostra um cenário menos restritivo, onde as áreas especiais são consideradas áreas de incentivo.

Figura 24. Mapa tipo 3 para pavimento permeável



Fonte: Autor (2017)

Apesar do pavimento permeável ser indicado para substituir o pavimento impermeável, para o presente estudo, as ruas não foram indicadas como locais propícios, devido a incapacidade de delimitar quais ruas tem maior ou menor tráfego.

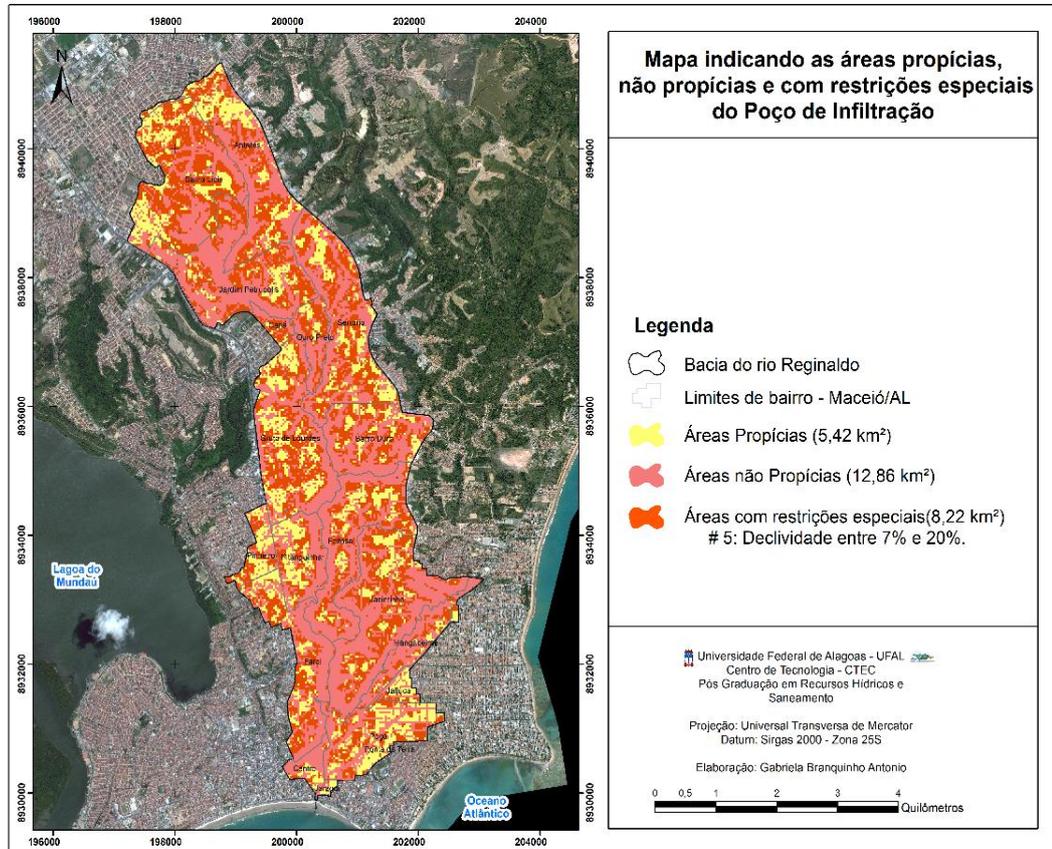
O amortecimento de vazões para os tempos de retorno de 5 anos, como recomendado por Batista et al. (2005), e com TR de 2 anos, apresenta boas taxas de amortecimento, para todas as durações, para os TR's mais altos, o amortecimento é reduzido, com exceção da duração de 30 min e TR de 15 anos, que continua apresentando bons resultados para as áreas de 50 e 100 % impermeáveis.

6.1.3 Poço de Infiltração

O poço de infiltração possui um total de área propícia igual a 5,42 km² (20,45 %), com 12,86 km² de áreas não propícias (48,53%) e 8,22 km² (31,02%) de áreas com restrições

especiais (Figura 25). Esse dispositivo necessita de maiores estudos, principalmente a cerca de locais propícios ou não para instalação.

Figura 25. Mapa tipo 1 para poço de infiltração



Fonte: Autor (2017)

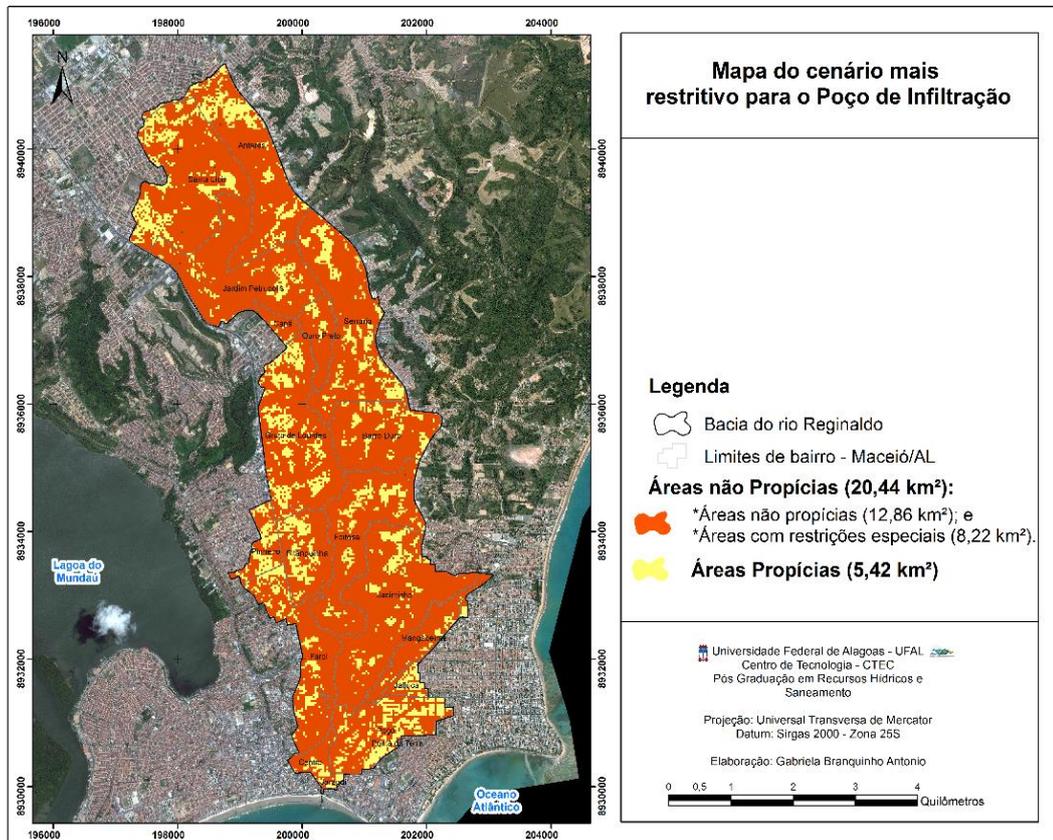
Dentre as restrições especiais, a única que ocorre para esse dispositivo, é a declividade que varia de 7 a 20%. O Guia de Desing para Pavimento Permeável da Califórnia (2004), recomenda que a inclinação máxima para a instalação de um poço de infiltração seja de 15 %, e cita a cidade de San Diego, para qual, a inclinação máxima é de 40 %. O *Manual Low Impact Development Development of Los Angeles* (2014), recomenda que não sejam instalados e locais com declividades superiores a 20 %.

No mapa tipo 2, traz um cenário mais restritivo, conforme mostra a Figura 26, o uso do poço de infiltração torna-se bastante limitado, devido à restrição de ser usado em áreas comerciais e industriais (BLICK et al., 2004). Nesse cenário, o total de área não propícia é de aproximadamente 21,08 km² (79,55%).

O *New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual* (BLICK et al., 2004) recomenda que o poço de infiltração não seja instalado nas áreas comerciais e industriais, devido ao alto risco contaminação das águas subterrâneas, diversas cidades américas criaram

uma regulamentação para o uso dos poços, de modo que os mesmos só podem ser usados se atestado que não existe possibilidade de provocar risco a qualidade da água subterrânea e potável (EPA, 1999).

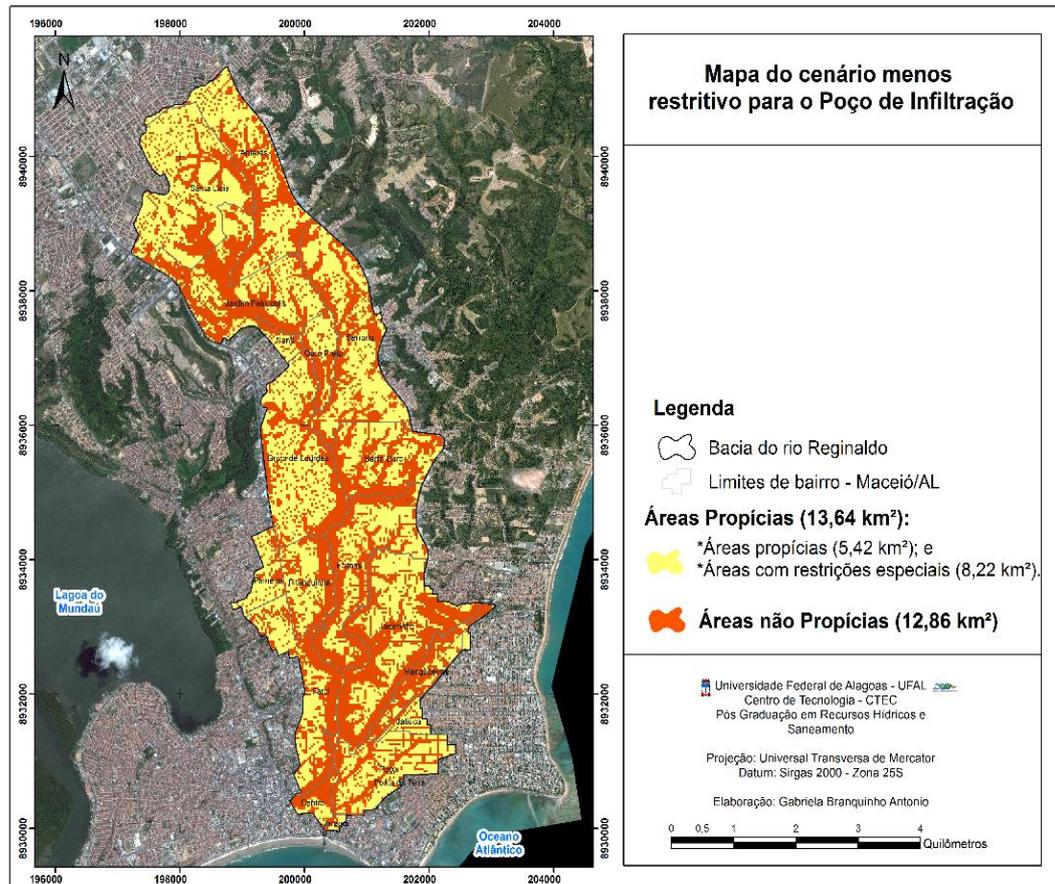
Figura 26. Mapa tipo 2 para poço de infiltração.



Fonte: Autor (2017)

Dessa forma, conforme mapa tipo 3 da Figura 27, onde há associação entre as áreas propícias e com restrições especiais, a área disponível passa a ser 13,64 km² (51,47 %). Cabe ressaltar que os poços de infiltração são dispositivos muito bons para locais com pouca disponibilidade de área em superfície, visto que sua estrutura é subterrânea.

Figura 27. Mapa tipo 3 para poço de infiltração.



Fonte: Autor (2017)

6.1.4 Trincheira de Infiltração

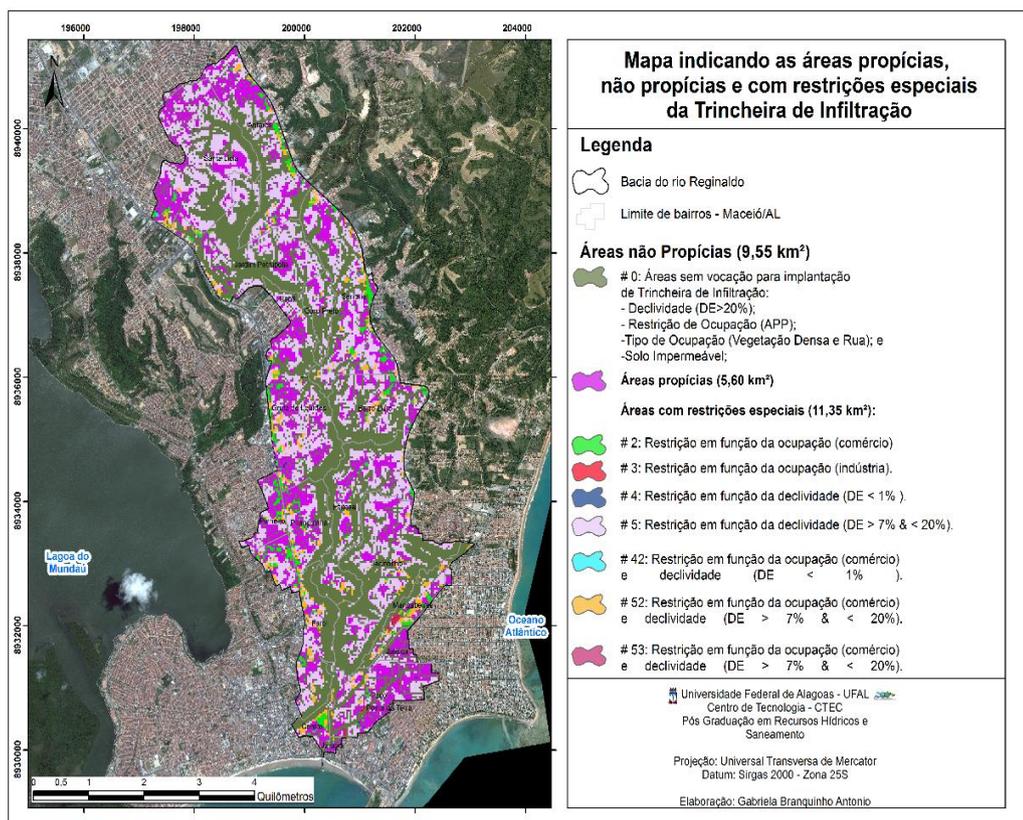
A trincheira de infiltração, apresentou, dentre os dispositivos analisados, a maior proporção de áreas propícias, aproximadamente 5,6 km² (21,13 %) e a menor proporção de áreas com restrições especiais, 9,55 km² (36,04%), e 11,35 km² (42,83%) de áreas não propícias, conforme mapa tipo 1 da Figura 28.

As restrições que compuseram as áreas não propícias foram a declividade, as áreas de APP, Solos impermeáveis, uso e cobertura do solo (vegetação e ruas). As áreas de vegetação, entraram como um critério restritivo, pois o objetivo é não incentivar a retirada de qualquer vegetação remanescente, principalmente das áreas de APP.

Dentre os trabalhos que foram lidos, e que dão orientações sobre declividades recomendadas tem-se:

- *Maryland Stormwater Design Manual (chapter 4)*¹ (2000), estabelece que as trincheiras de infiltração não devem ser instaladas em declives superiores a 15 %;
- Batista et al. (2005), com declividade menores que 1% e 7 % - 20%, necessitam de adaptação;
- SMDU (2012), que estabelece que as trincheiras de infiltração podem ser implantadas em declividades menores e maiores que 5%;
- *County Of Los Angeles Department Of Public Works* (2014) e o *The SuDS Manual* (2007) entendem que as declividades não devem ser superiores a 2%;
- *Storm Water Best Management Practices (BMP) Guidance Manual* (2014), aponta a inclinação de 3 % como declive máximo e ressalta que para casos de inclinações maiores torna-se necessário a realização estudos geotécnicos de estabilidade; e
- Melo et al. (2016) declividade não deve ser superior a 5 %.

Figura 28. Mapa tipo 1 para trincheira de infiltração.

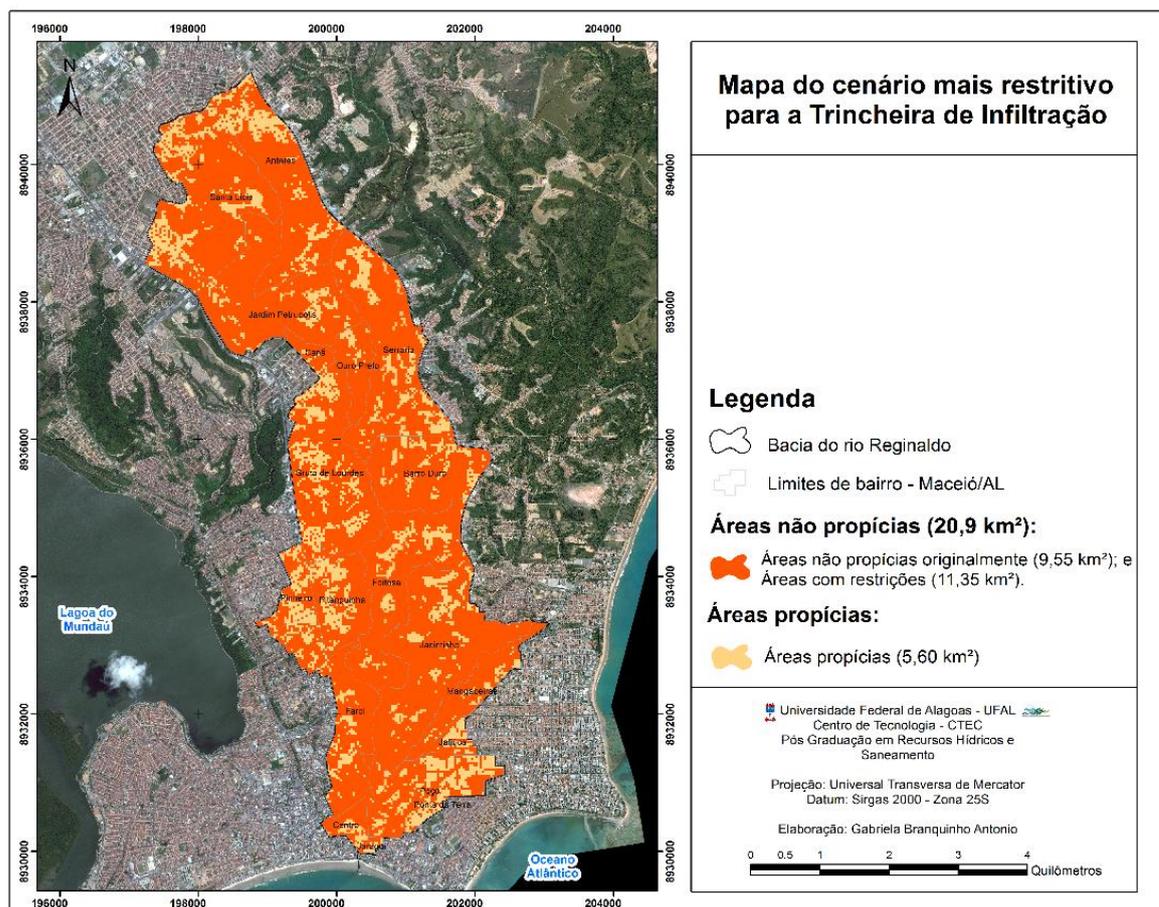


Fonte: Autor (2017)

¹http://mde.maryland.gov/programs/Water/StormwaterManagementProgram/MarylandStormwaterDesignManual/Pages/Programs/WaterPrograms/SedimentandStormwater/stormwater_design/index.aspx

No mapa tipo 2, as áreas totais não propícias chegam a 20,9 km² (78,87%), conforme a figura 29, enquanto que no mapa tipo 3, as áreas propícias chegam a 15,15 km² (57,17%), conforme Figura 30.

Figura 29. Mapa tipo 2 para trincheira de infiltração.



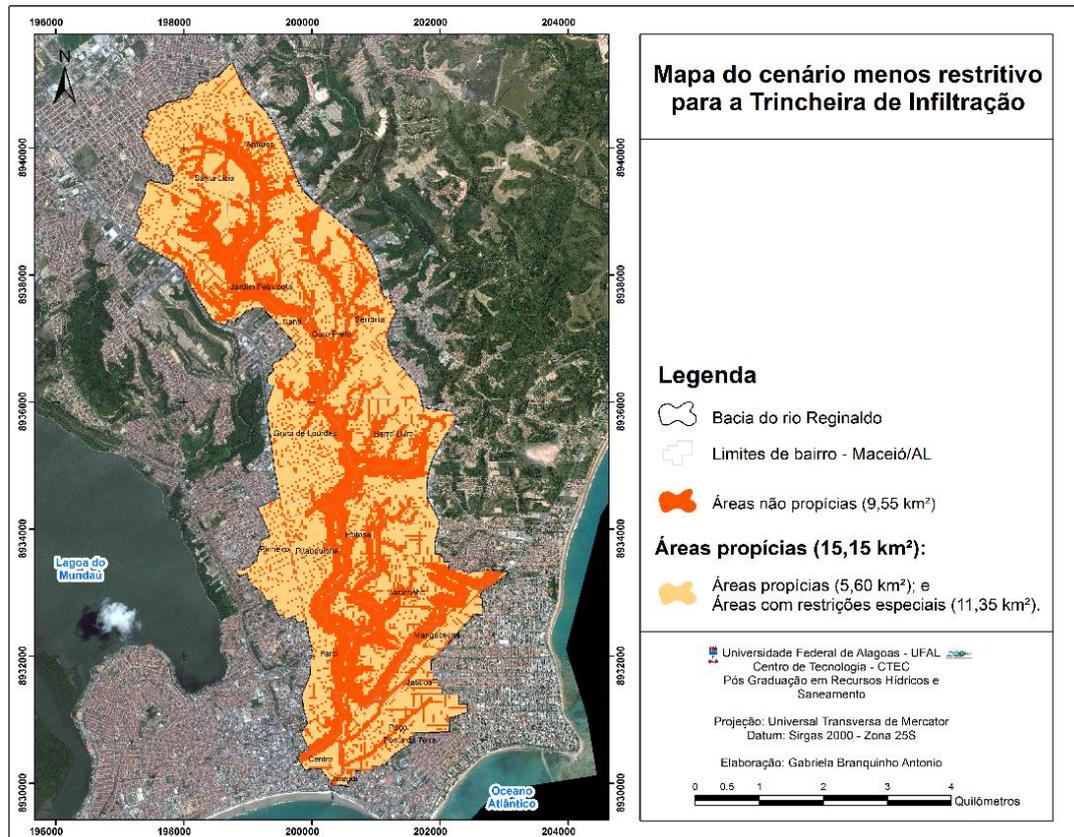
Fonte: Autor (2017)

O *Storm Water Best Management Practices (BMP) Guidance Manual* (2014), aponta dispositivos de infiltração, não devem ser viáveis de instalação em solos do grupo hidrológico C, enquanto que os solos do grupo D não são de fato adequados.

Dentre as técnicas compensatórias, a biorretenção foi a que apresentou a menor proporção de áreas não propícias, indicando ser uma técnica com boa aplicabilidade. Todavia, foi a que também apresentou maior proporção de área com restrições especiais.

As Quadros 10, 11 e 12 apresentam um resumo das proporções de áreas para cada dispositivo e para cada tipo de mapa.

Figura 30. Mapa tipo 3 para trincheira de infiltração



Fonte: Autor (2017)

Quadro 9 - Mapa 1: Relação das áreas para cada técnica compensatória

Dispositivo	Propícia (km ²)	Área (%)	Não propício (km ²)	Área (%)	Restrição específica (km ²)	Área (%)
Biorretenção	5,53	20,87	8,63	32,57	12,34	46,57
Trincheira de Infiltração	5,6	21,13	11,35	42,83	9,55	36,04
Poço de Infiltração	5,42	20,45	12,86	48,53	8,22	31,02
Pavimento Permeável	5,06	19,09	12,88	48,60	8,56	32,30

Fonte: Autor (2017)

Quadro 10 - Mapa 2: Cenário mais restritivo

Dispositivo	Propícia (Km ²)	Área (%)	Não propício (Km ²)	Área (%)
Biorretenção	5,53	20,87	20,97	79,13
Trincheira de Infiltração	5,6	21,13	20,9	78,87
Poço de Infiltração	5,42	20,45	21,08	79,55
Pavimento Permeável	5,06	19,09	21,44	80,91

Fonte: Autor (2017)

Quadro 11 - Mapa 3: Cenário menos restritivo

Dispositivo	Propícia (Km ²)	Área (%)	Não propício (Km ²)	Área (%)
Biorretenção	17,87	67,43	8,63	32,57
Trincheira de Infiltração	15,15	57,17	11,35	42,83
Poço de Infiltração	13,64	51,47	11,22	42,34
Pavimento Permeável	13,62	51,40	11,52	43,47

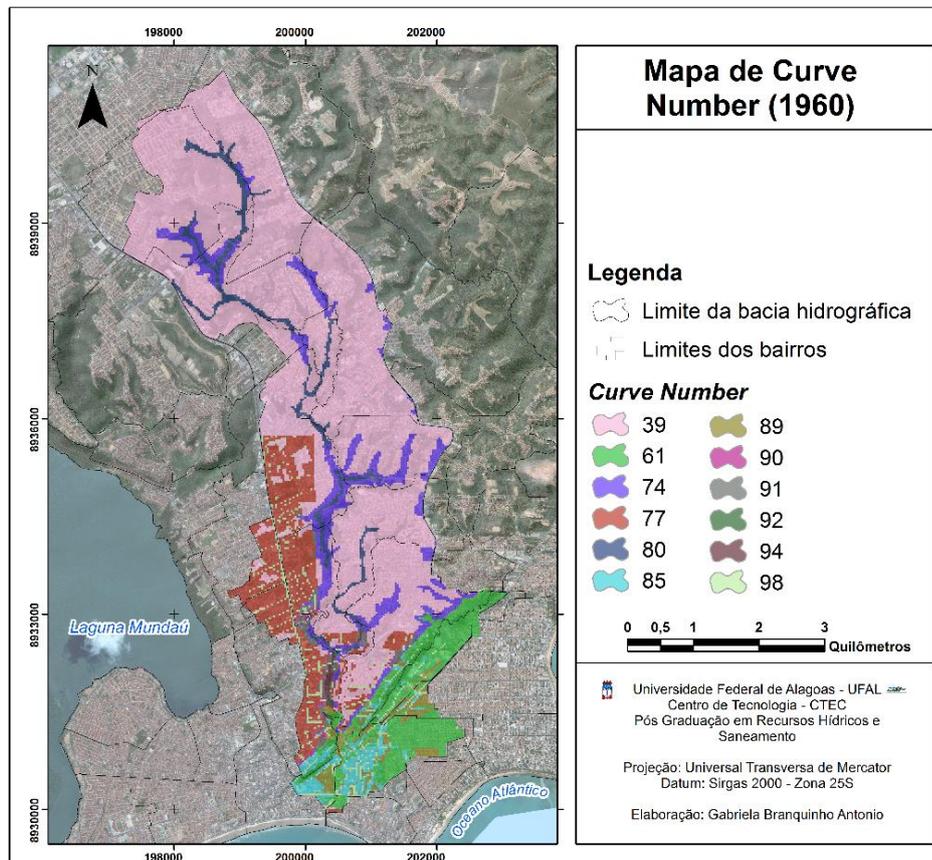
Fonte: Autor (2017)

6.2 Mapeamento da vazão de restrição

De posse do mapa de uso do solo e considerando que não houve modificações expressivas nos solos pedológicos, foi elaborado o mapa de CN – *Curve Number* (Figura 31). Para as áreas residenciais foram consideradas lotes menores que 500 m², isso porque foi levado em consideração a área do pixel (30 m²) como unidade área de análise.

É importante ressaltar que já nessa época é possível observar uma ocupação incipiente nas áreas do vale do Reginaldo, principalmente, na parte baixa da bacia.

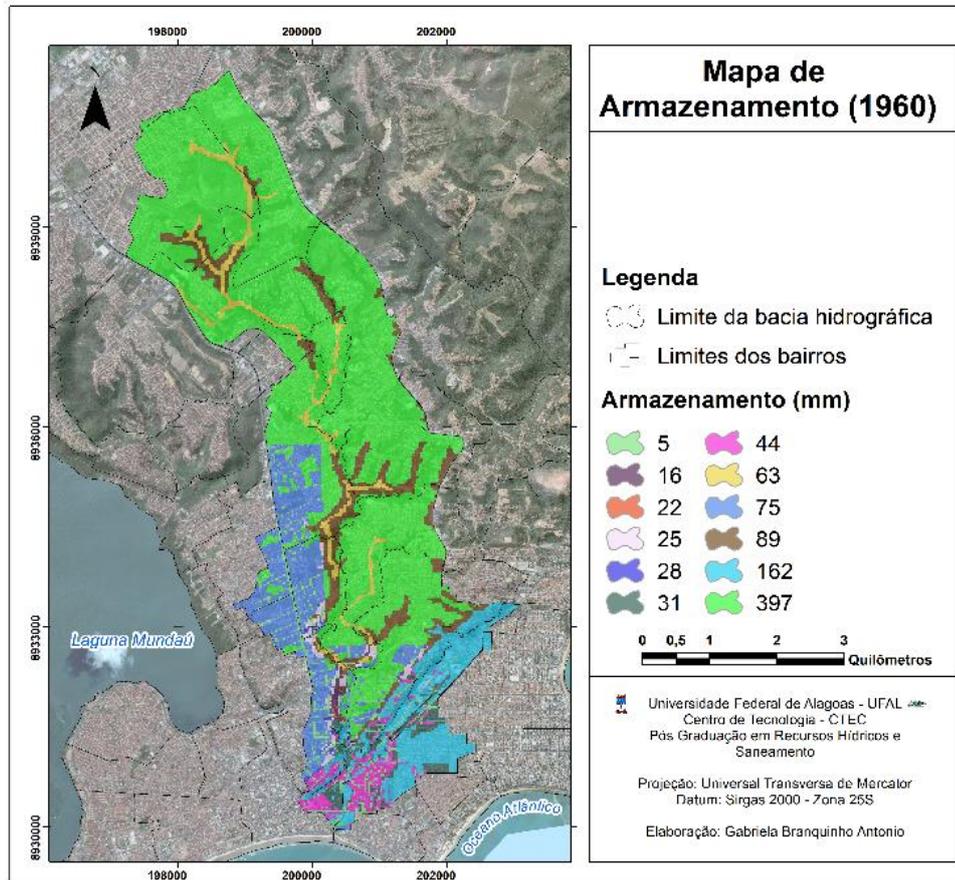
Figura 31. Mapa de CN da bacia do reginaldo para o ano de 1960.



Fonte: Autor (2017)

A bacia apresenta potenciais de armazenamento altas, associadas ao grupo de solos hidrológicos A e ao uso e cobertura. Na área equivalente ao potencial de armazenamento de 397 mm a cobertura do solo é de vegetação rasteira e o solo hidrológico A (Figura 32).

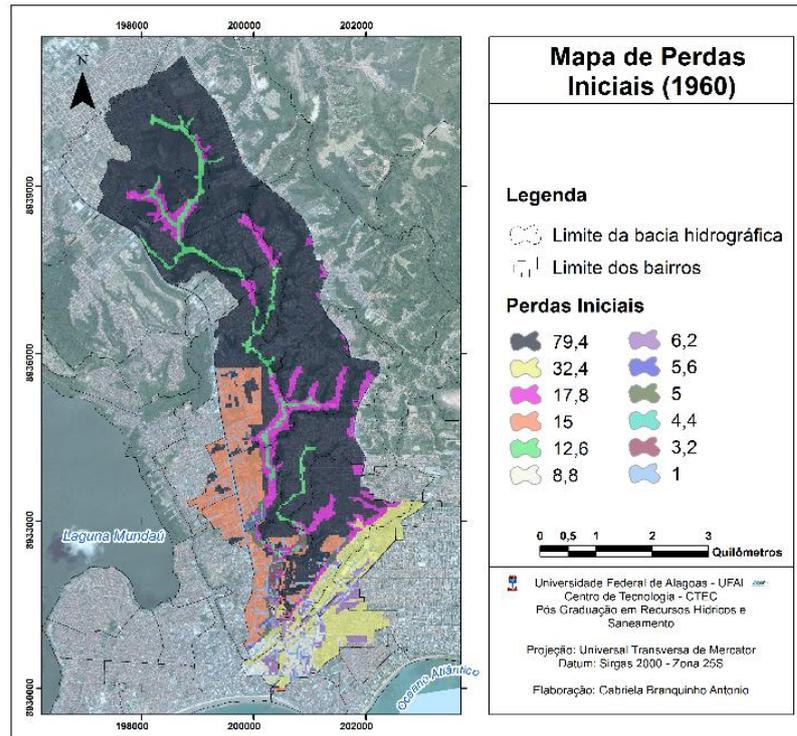
Figura 32. Mapa com as taxas de armazenamento calculadas para o ano de 1960.



Fonte: Autor (2017)

A partir dos dados de armazenamento foi gerado os dados das perdas iniciais (figura 33).

Figura 33. Mapa com as perdas iniciais para 1960



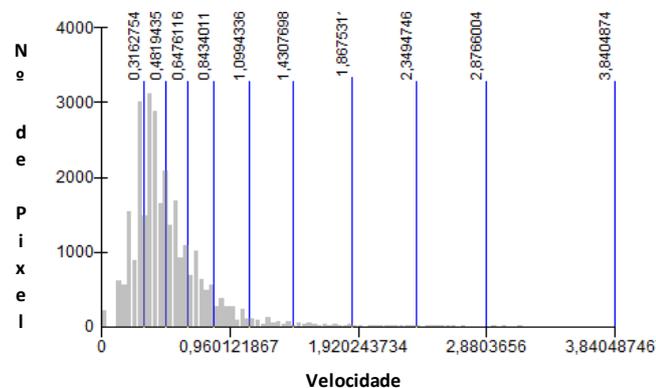
Fonte: Autor (2017)

Essas informações contidas nos mapeamentos têm como finalidade dar subsídio para as outras etapas de cálculo, que serão apresentadas na ordem de métodos utilizados para a determinação de qpre: 1) equacionamento completo: método cinemático e método racional, 2) duração que gera precipitação efetiva, 3) duração igual a hora e 4) duração igual a 4 horas.

6.2.1 Equacionamento Completo: método cinemático e método racional

As velocidades máximas para 1960 é igual a 3,84 m/s e a mínima 0 – 0,15 m/s, a velocidade média é 0,52 m/s. A distribuição da velocidade é apresentada na figura 34.

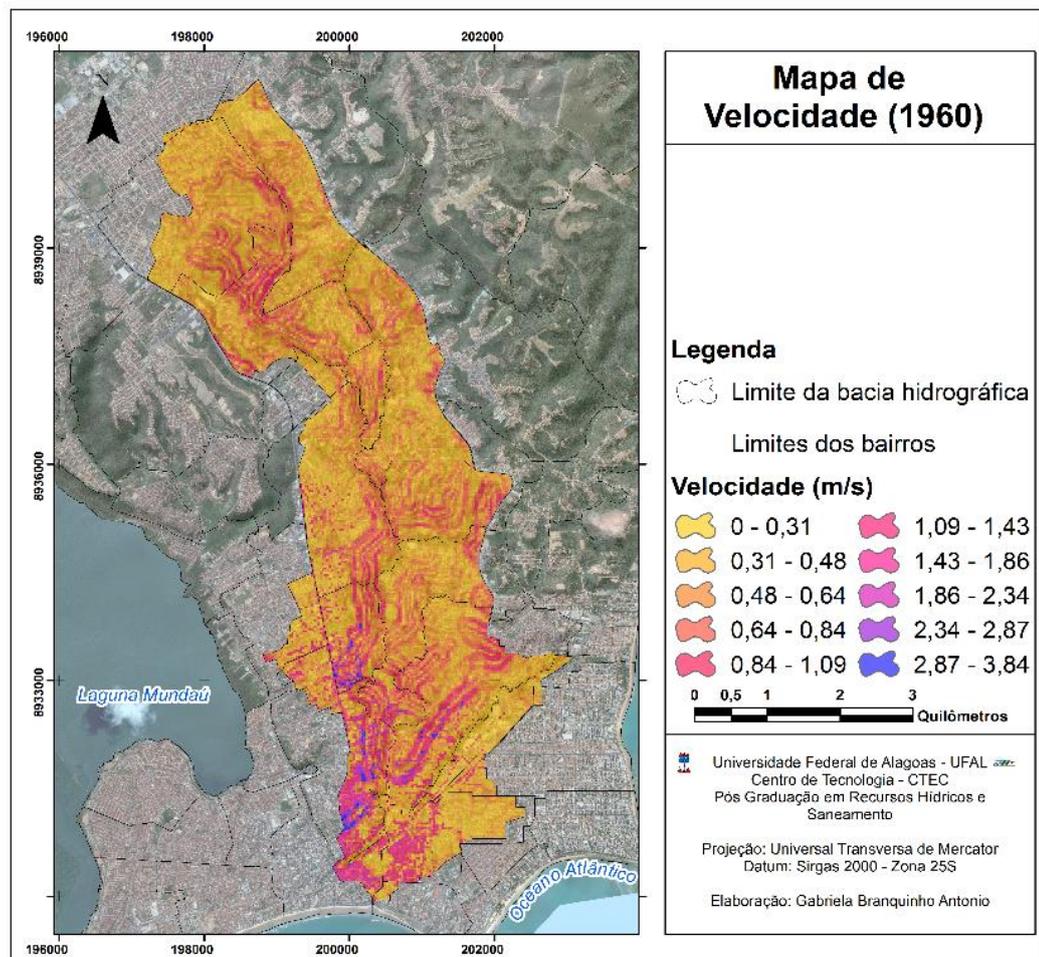
Figura 34. Histograma de frequência das velocidades para 1960



Fonte: Autor (2017)

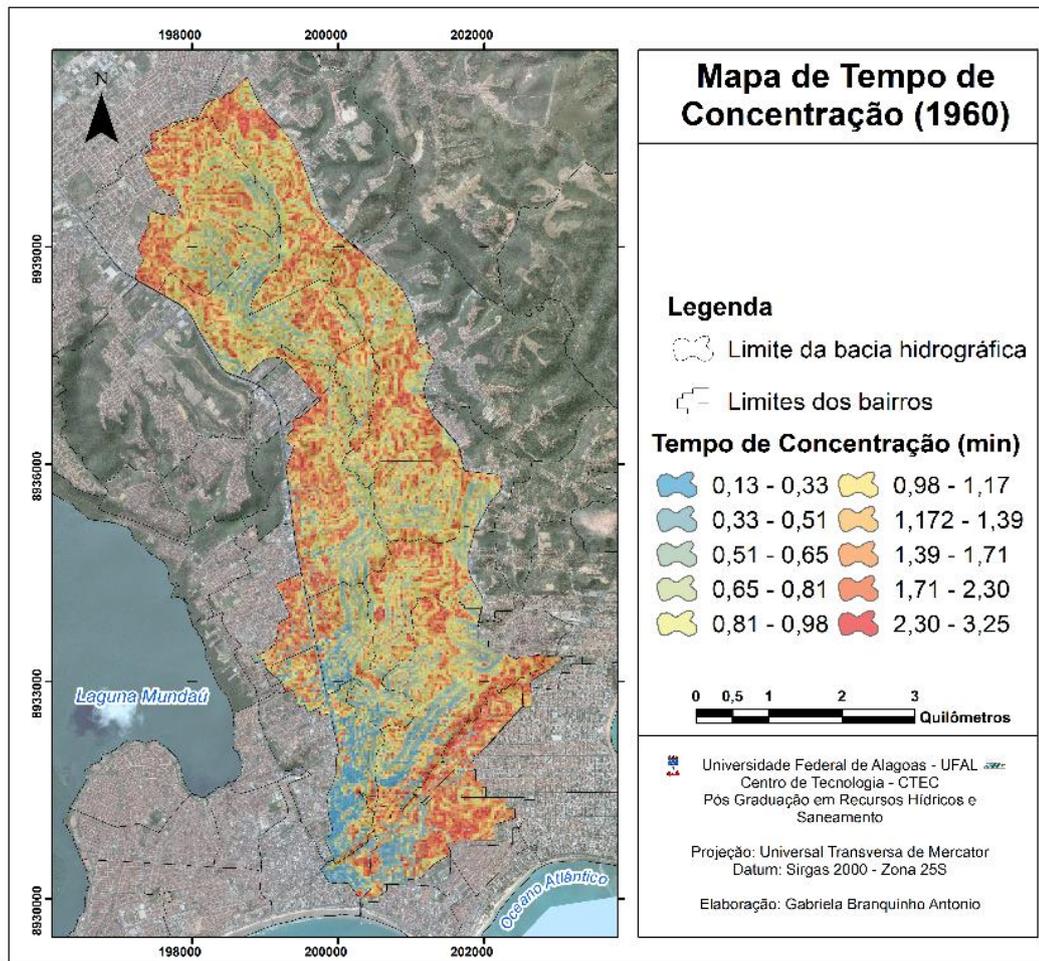
As velocidades mais altas ocorrem nas áreas de grota e vale devido a declividades mais acentuadas e nas áreas urbanas em função das áreas impermeáveis (figura 35). Todavia, apesar das velocidades serem menores, o impacto delas no tempo de concentração é muito pouco, os tc's sofrem pequenas reduções, inclusive o tc mínimo que deixa de ser 0,11 min (1989) e passa a ser 0,13 min (1960), o tempo de concentração médio é de 1,20 minutos e o tempo de concentração máximo é de 3,25 minutos (figura 36).

Figura 35. Velocidade do escoamento (m/s) para 1960



Fonte: Autor (2017)

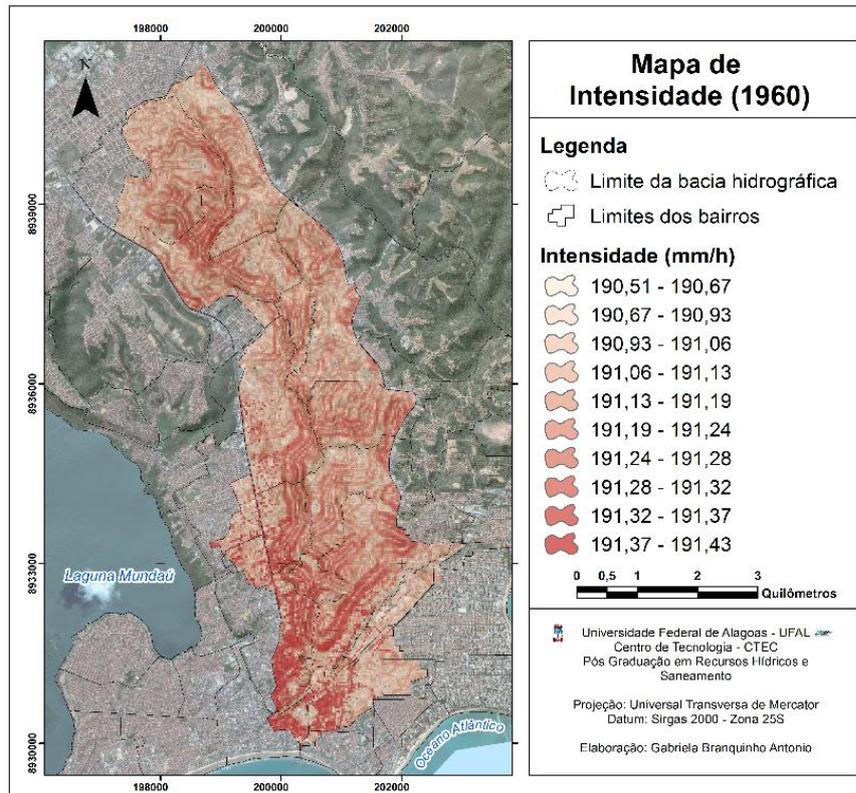
Figura 36. Tempo de Concentração (min) para o ano de 1960



Fonte: Autor (2017)

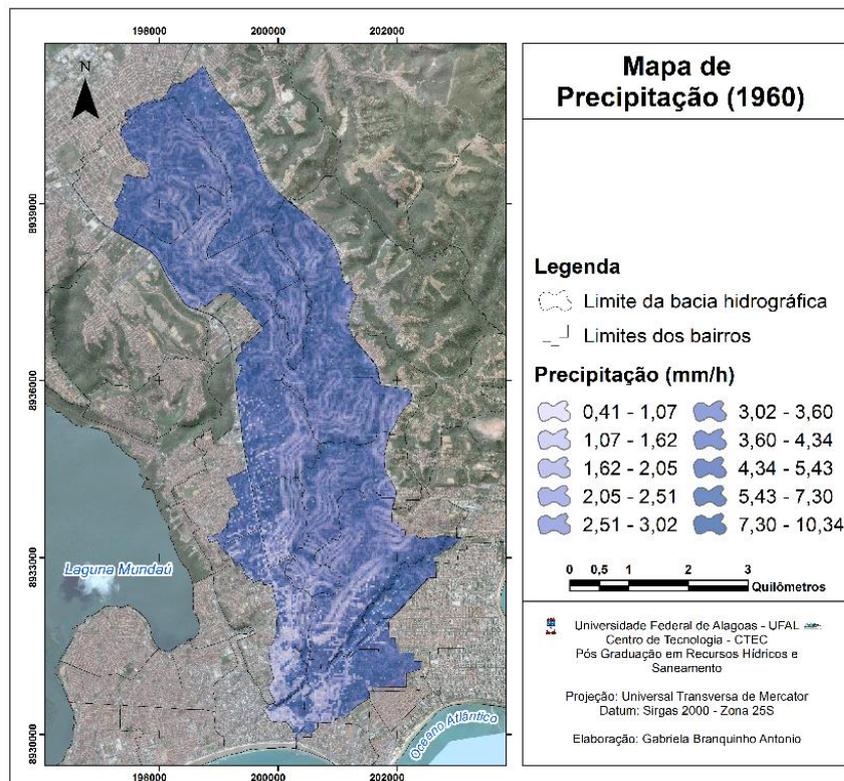
As intensidades médias das precipitações são de 191,12 mm/h, a variação na intensidade é de 190,51 mm/h – 191,44 mm/h (figura 37). As intensidades calculadas geram precipitações totais pequenas (figura 38).

Figura 37. Intensidade da precipitação (mm/h) para o ano de 1960



Fonte: Autor (2017)

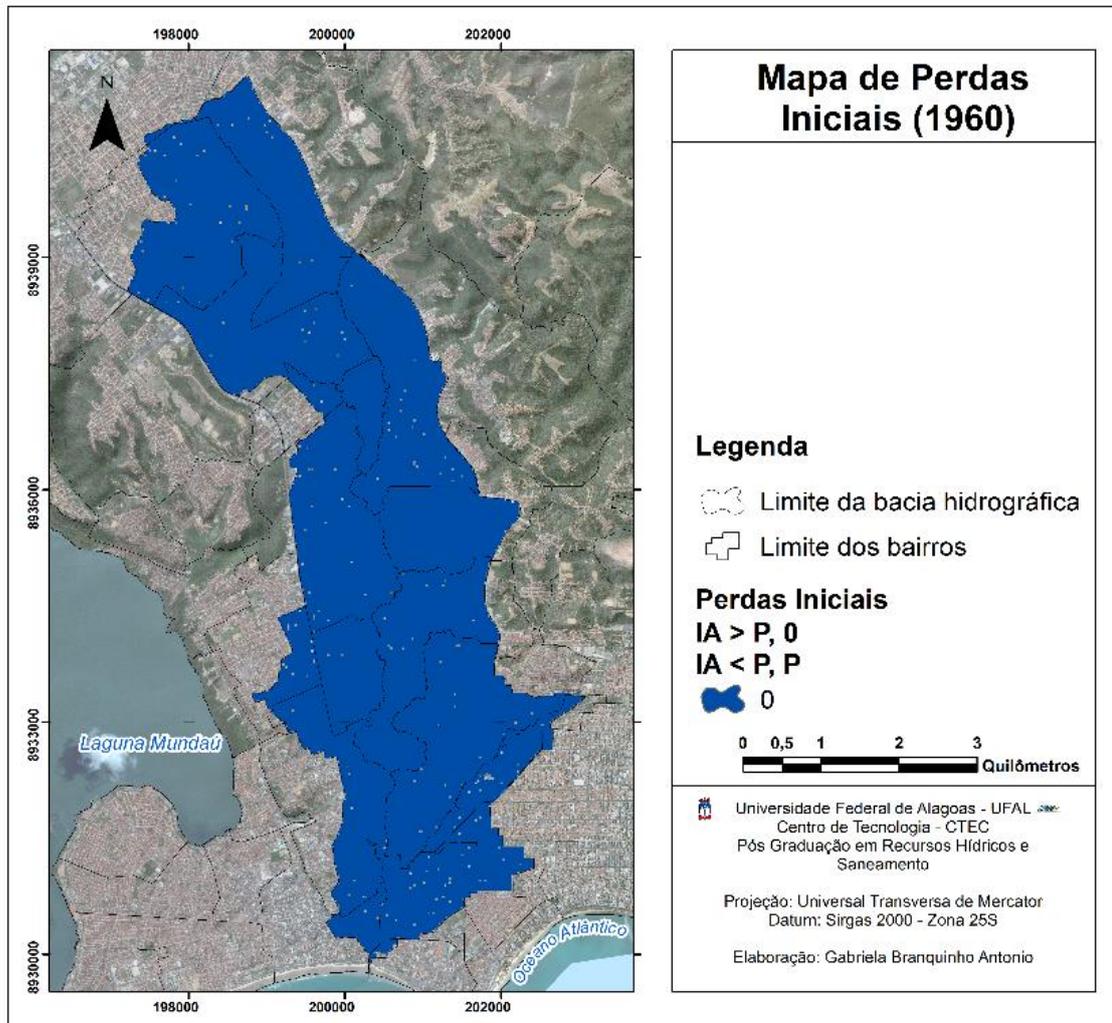
Figura 38. Mapa de Precipitação para o cenário 1960



Fonte: Autor (2017)

Com os dados de precipitação foi realizada a condicional referente ao método SCS, dessa forma foi verificado que ao longo de toda a bacia, as perdas iniciais superavam as precipitações, logo aplica-se a regra, de $qpre$ é igual a 0 (figura 39).

Figura 39. Mapa mostrando o resultado da condicional do método SCS



Fonte: Autor (2017)

6.2.2 Duração que gera precipitação efetiva

A Quadro 13 apresenta um resumo dos resultados encontrados para a duração pré definida. Esses resultados foram especializados.

Quadro 12. Resumo dos dados obtidos a partir da duração pré-definida.

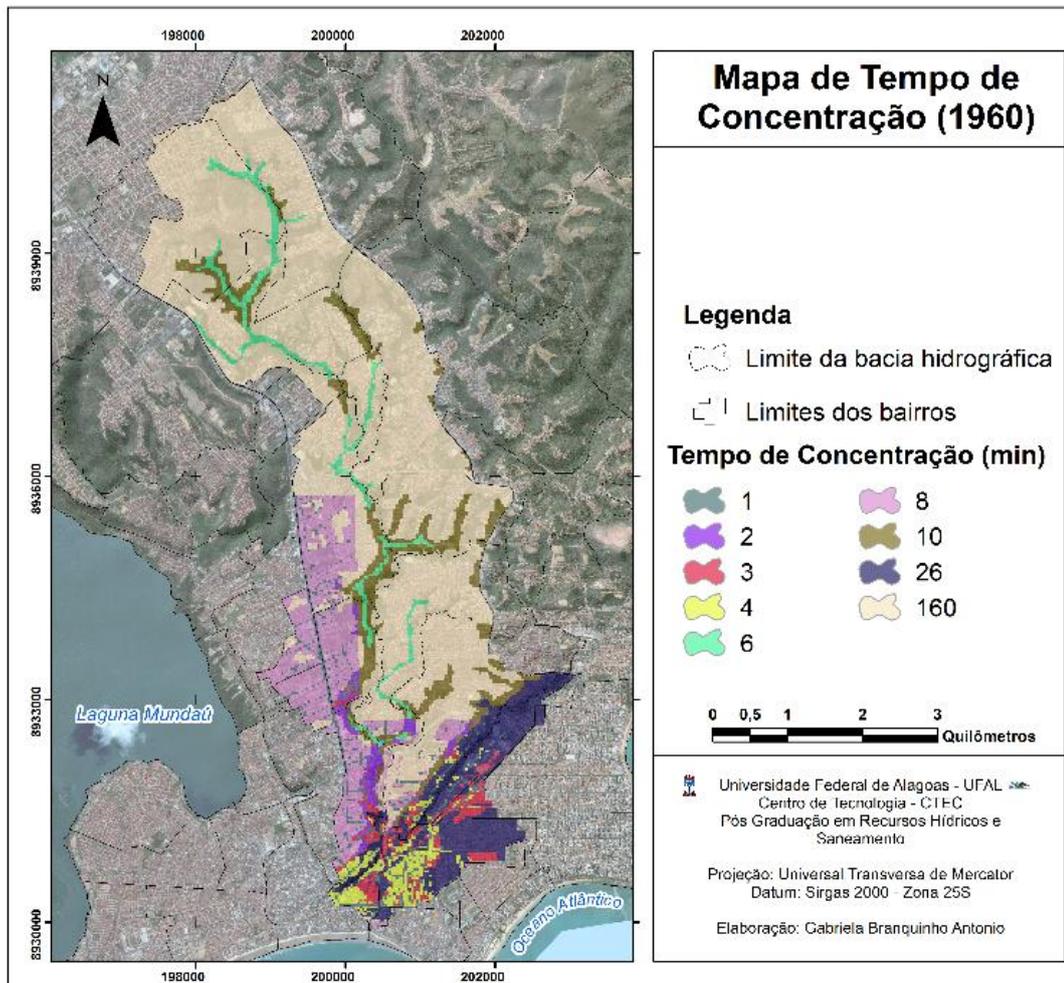
TC (min)	I (mm/h)	P (mm)	IA	P - IA	cpre	qpre (m ³ /s)	qpre (L·s ⁻¹ ·ha ⁻¹)
160	29,83	79,54	79,46	0,09	0,000000237	0,000000002	0,00002
26	74,99	32,50	32,48	0,02	0,000000057	0,000000001	0,00001
10	110,56	18,43	17,85	0,58	0,000201513	0,000005574	0,06193
8	119,14	15,89	15,17	0,71	0,000416068	0,000012403	0,13781

TC (min)	I (mm/h)	P (mm)	IA	P - IA	cpre	qpre (m ³ /s)	qpre (L·s ⁻¹ ·ha ⁻¹)
6	129,88	12,99	12,70	0,29	0,000100309	0,000003260	0,03622
4	143,84	9,59	8,96	0,62	0,000896058	0,000032249	0,35832
3	152,59	7,63	6,28	1,35	0,007302920	0,000278805	3,09784
3	152,59	7,63	5,64	1,98	0,017095498	0,000652659	7,25177
2	162,99	5,43	5,02	0,41	0,001205131	0,000049146	0,54606
2	162,99	5,43	4,42	1,02	0,008218079	0,000335135	3,72373
2	162,99	5,43	3,24	2,19	0,047988681	0,001956991	21,74435
1	175,65	2,93	1,04	1,89	0,172611510	0,007585694	84,28549

Fonte: Autor (2017)

As durações estão diretamente associadas aos CN, foram especializadas através de uma função condicional, atribuindo os TC aos respectivos valores de CN. A duração mais alta é de 160 minutos, correspondendo a 2,6 horas para gerar escoamento no CN 39 (figura 40).

Figura 40. Duração pre definida que gera escoamento

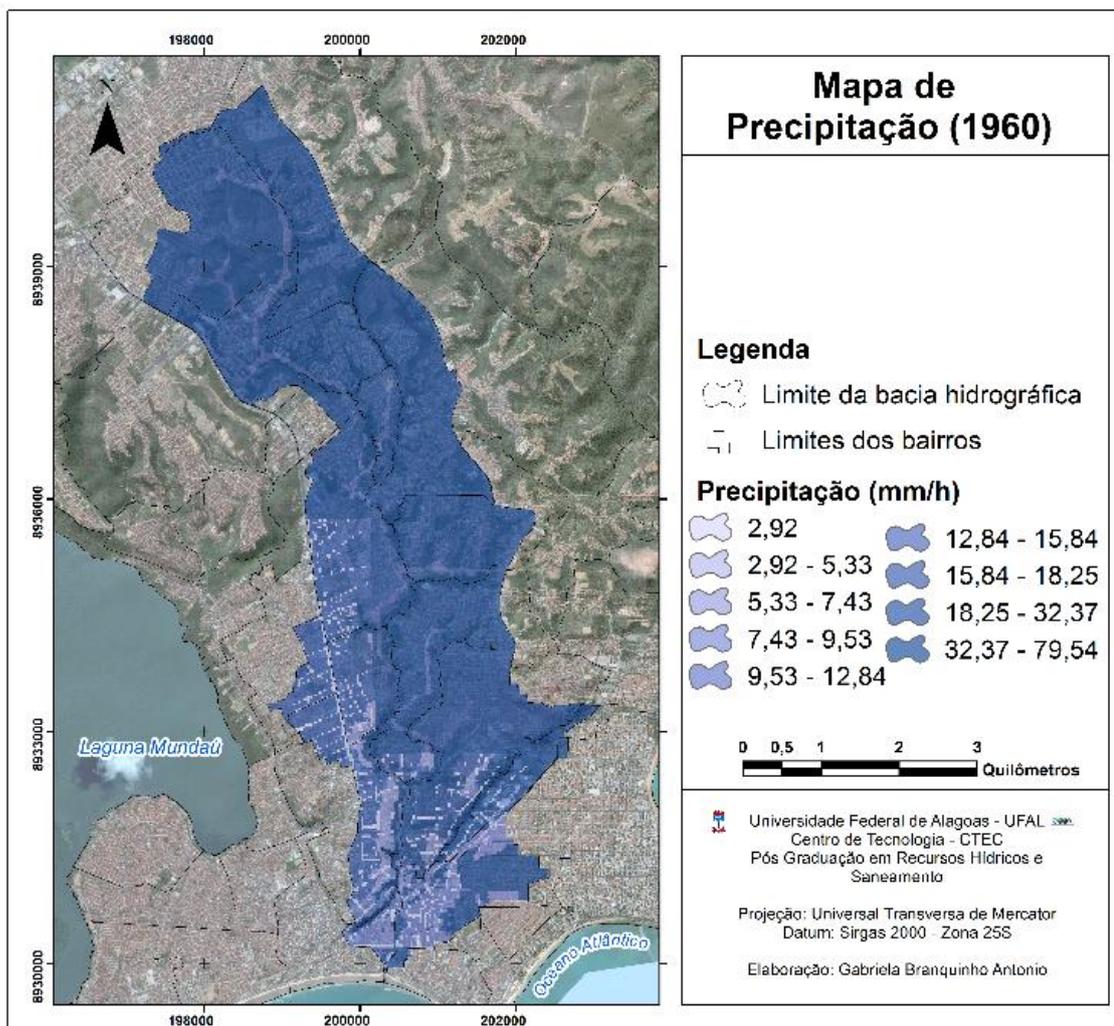


Fonte: Autor (2017)

Esse dado é interessante mostra a necessidade de estudos mais aprofundados sobre o tempo de concentração ideal para a bacia do Reginaldo, isso porque, o tempo de concentração igual a uma hora, que será apresentado a seguir, não foi o bastante para gerar escoamento em toda bacia, mas de acordo com esse resultado, 2,6 horas é o suficiente apesar de apresentar qpre bem pequenas. Mostrando que talvez um valor intermediário entre 2,6 horas – 4 horas possa ser um tempo de concentração ideal.

Os tempos de concentração mais altos geraram precipitações mais altas, a precipitação média é 55,54 mm (figura 41).

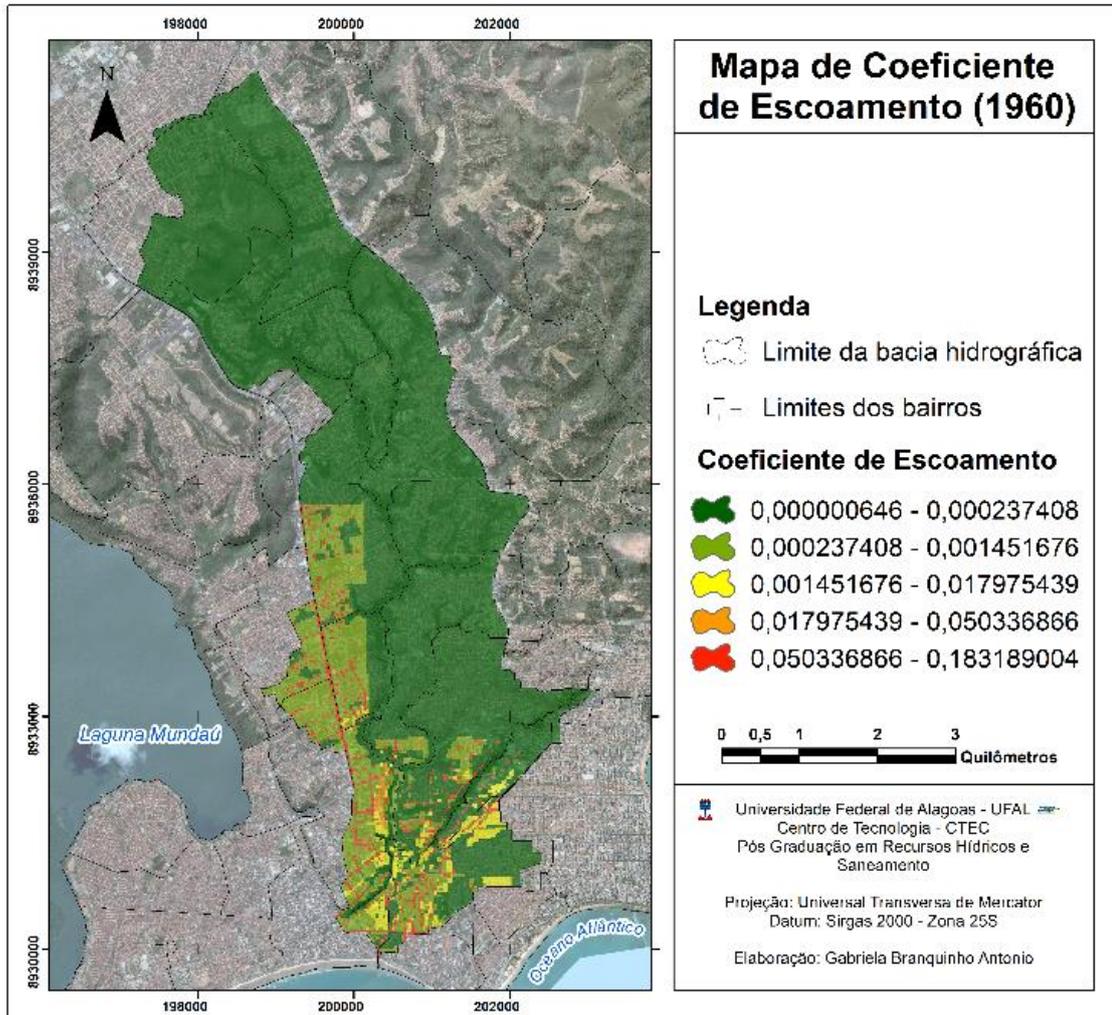
Figura 41. Precipitação para duração pré-definida



Fonte: Autor (2017)

O coeficiente de escoamento mais expressivo, é o mais baixo é 0,000000646 devido ao fato dessa área ter como uso e cobertura do solo predominante a mata agreste, consequentemente, esse cpre dará origem a vazões também muito baixas como será visto adiante (figura 42).

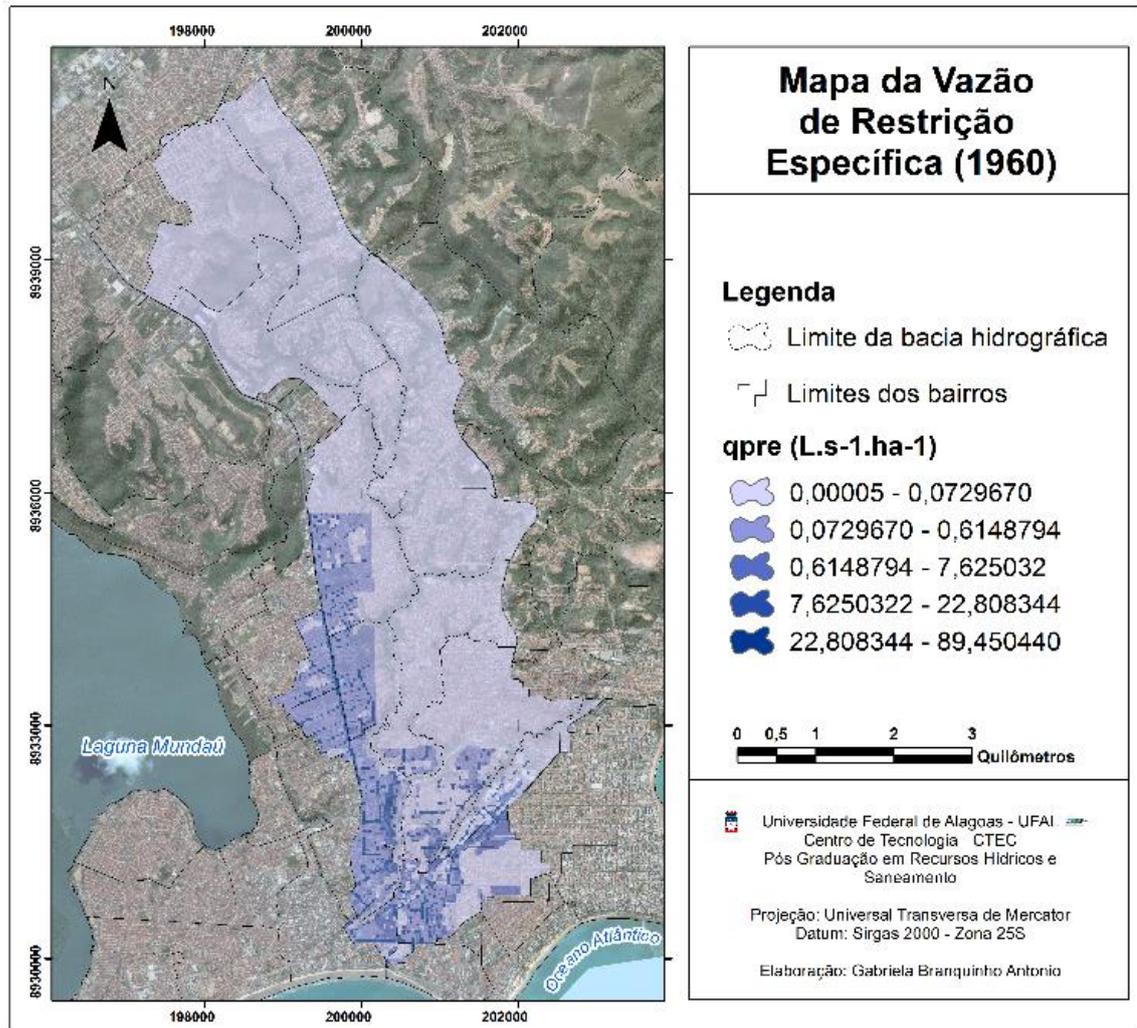
Figura 42. Mapa com os valores de cpre



Fonte: Autor (2017)

A faixa entre 0,00005 - 0,0729670 mostra uma predominância de vazões baixas na bacia, representam cerca de 81,25 % da área da bacia. As vazões mais altas correspondentes a 89,45 apresentam uma área de 2,98 % da bacia (figura 43). De maneira geral, as vazões mais elevadas ocorrem nas áreas corresponde as áreas de solo hidrológico A e B devido a urbanização e aos loteamentos.

Figura 43. Mapa da vazão de restrição específica



Fonte: Autor (2017)

6.2.3 Duração igual a 1 hora

Como a duração é fixa, não varia ao longo da bacia, as precipitações e as intensidades também não variam. A variação dos valores passa a ocorrer a partir do cálculo de cpre, pois um dos dados de entrada é o armazenamento. O resumo dos resultados para a duração igual a uma hora pode ser observado na Quadro 14.

Quadro 13. Resumo dos dados para o tempo de concentração igual a 1 hora.

TC igual a 1 horas									
S (mm)	CN	TC (min)	I (mm/h)	P (mm)	IA	P - IA	cpre	qpre (m ³ /s)	qpre (L.s ⁻¹ .ha ⁻¹)
397,28	39	60	49,99	49,99	79,46	-29,47	0,00	0,0000	0,00
162,39	61	60	49,99	49,99	32,48	17,51	0,03	0,0004	4,74
89,24	74	60	49,99	49,99	17,85	32,14	0,17	0,0021	23,66
75,87	77	60	49,99	49,99	15,17	34,82	0,22	0,0027	30,44

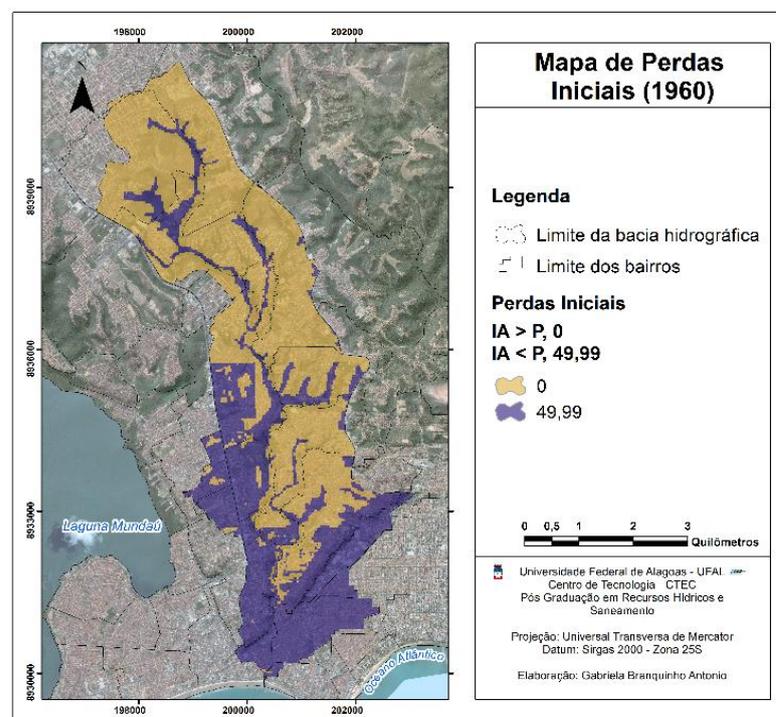
TC igual a 1 horas									
S (mm)	CN	TC (min)	I (mm/h)	P (mm)	IA	P - IA	cppe	qpre (m ³ /s)	qpre (L·s ⁻¹ ·ha ⁻¹)
63,50	80	60	49,99	49,99	12,70	37,29	0,28	0,0035	38,35
44,82	85	60	49,99	49,99	8,96	41,03	0,39	0,0049	54,50
31,39	89	60	49,99	49,99	6,28	43,71	0,51	0,0064	70,72
28,22	90	60	49,99	49,99	5,64	44,35	0,54	0,0068	75,34
25,12	91	60	49,99	49,99	5,02	44,97	0,58	0,0072	80,20
22,09	92	60	49,99	49,99	4,42	45,57	0,61	0,0077	85,33
16,21	94	60	49,99	49,99	3,24	46,75	0,69	0,0087	96,49
5,18	98	60	49,99	49,99	1,04	48,95	0,89	0,0111	123,06

Fonte: Autor (2017)

Para o tempo de concentração igual a uma hora, as precipitações mostram valores mais elevadas se comparado ao método cinemático, entretanto, em algumas partes da bacia, essa precipitação não superar as taxas de perdas iniciais.

A figura 44 é resultado aplicação da condição do método SCS, onde em 38,73 % da bacia será aplicado o método racional e em 61,27 % não será aplicado o método racional pois são as áreas onde a precipitação é menor que as perdas iniciais. Essa área onde não será aplicado o método corresponde ao CN 39, grupo hidrológico A.

Figura 44. Mapa mostrando o resultado da condicional do método SCS

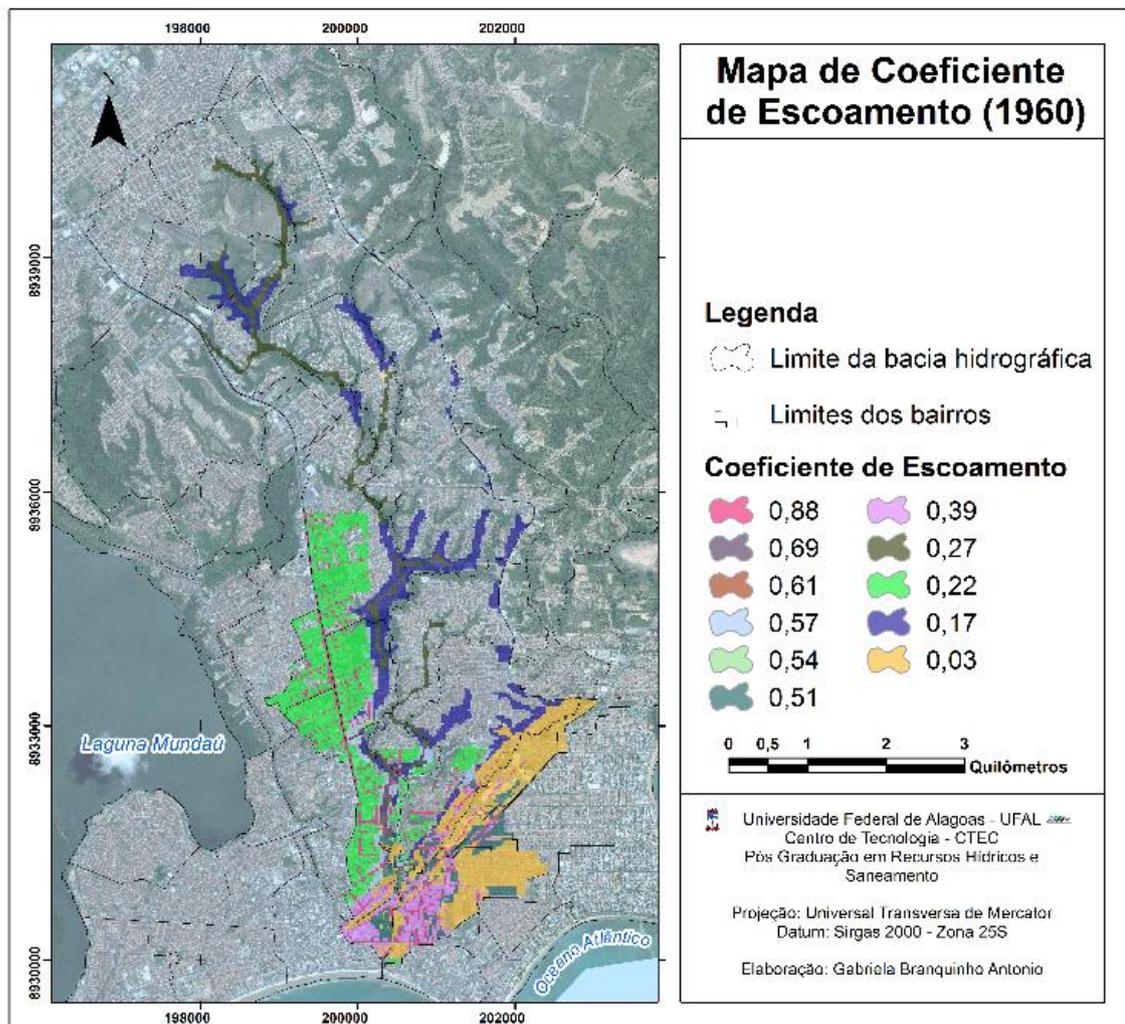


De acordo com os resultados obtidos por Peplau e Neves (2014) para a bacia do Sapo (sub bacia do Reginaldo) utilizando o método racional, com tempo de retorno de 10 anos e

duração de 1 hora, as vazões de qpre para os solos hidrológicos do grupo A também foram nulas. Os maiores valores de qpre ocorreram para os solos do grupo hidrológico C e D.

Dessa forma, as áreas onde a condicional de ia é 0, $Q = 0$, logo quando o cpre é calculado, aquelas áreas são consideradas nulas. O cpre mais representativo é o de 0,22 (10,13 % da área da bacia), seguindo por 0,17 com 7,44 % da bacia e 0,03 (8,21 % da área da bacia) (figura 45).

Figura 45. Mapa de coeficiente de escoamento



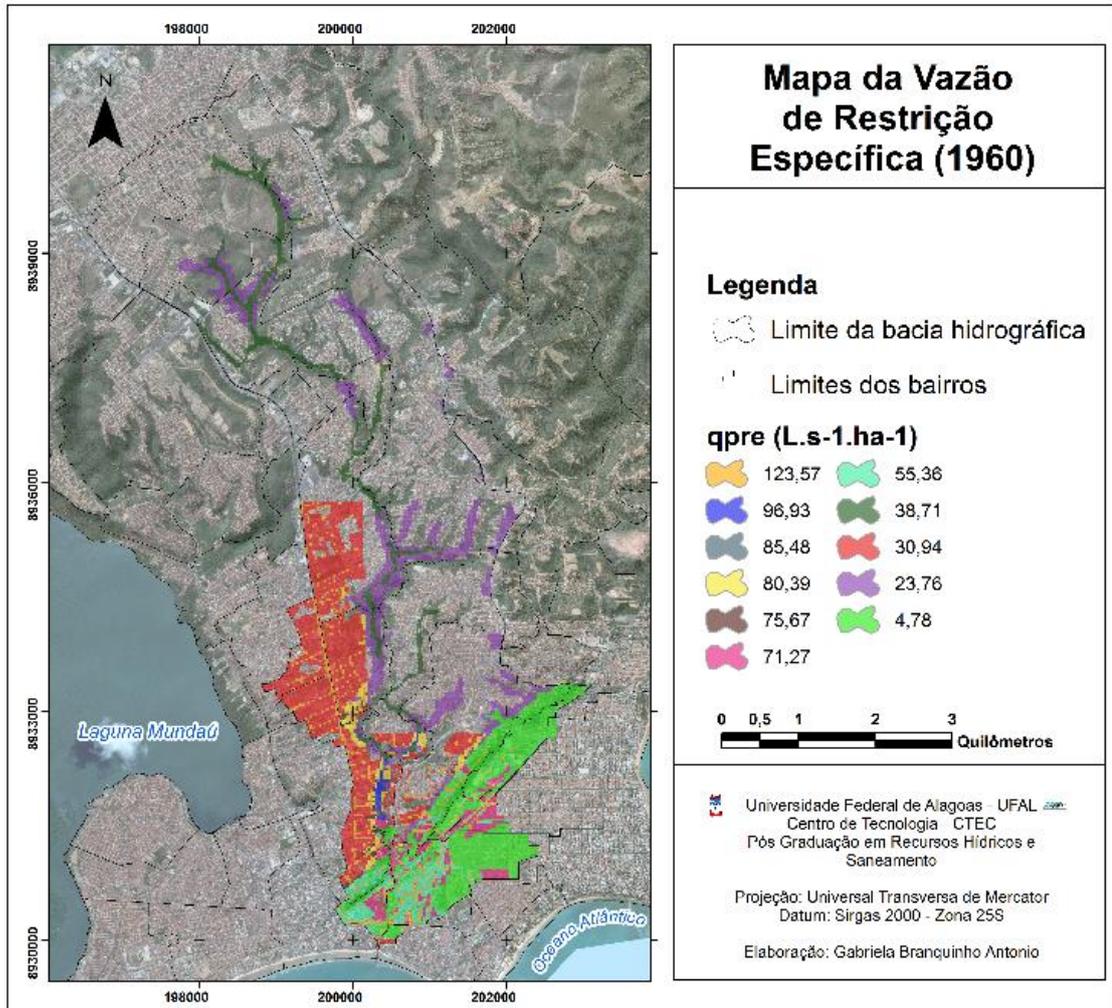
Fonte: Autor (2017)

Os valores de cpre mais altos representam as ruas pavimentadas (0,88) e os valores mais baixos (0,03) são oriundos de áreas não ocupadas e do grupo hidrológico B.

A maior parte das vazões concentra-se nos valores de 2,5 (10,30%), 18,3 (8,38%), 33,2 (3,91 %) e 55,18 (3,44) essas vazões estão associadas aos grupos hidrológicos B, C e D (Figura

46). Os dados apresentam uma distribuição do tipo normal, a média dos qpres é de 21,45, o desvio padrão é 18,40 e a mediana é 18,03.

Figura 46. Mapa de qpre para o tempo de concentração igual a 1 hora



Fonte: Autor (2017)

É importante ressaltar que a escala de trabalho, e o cpre adotado ou calculado influênciam os resultados, de modo que Peplau e Neves (2014) adotaram valores de cpre único para cada grupo hidrológico, TR de 10 anos, duração de 60 minutos e área de 100ha para a bacia do Sapo, e encontraram valores de qpre com ordem de grandeza diferentes dos encontrados pela autora, que utilizou uma área de 30 m² e diferentes valores de cpre.

Foi possível encontrar valores de cpre com ordens de grandeza semelhante aos encontrados por Peplau e Neves (2014).

6.2.4 Duração igual a 4 horas

Os resultados para o tempo de concentração igual a 4 horas foram os que apresentaram valores de q_{pre} mas semelhantes aos citados, de $q_{pre}=25 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ (Tucci, 2000; São Paulo, 2012) e Feira de Santana – BA, com o valor de $q_{pre}= 28,94 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$ (LIMA e SILVA, 2012). Podem ser observados na Quadro 15.

Quadro 14. Resumo dos resultado obtidos com tempo de concentração igual a 4 horas

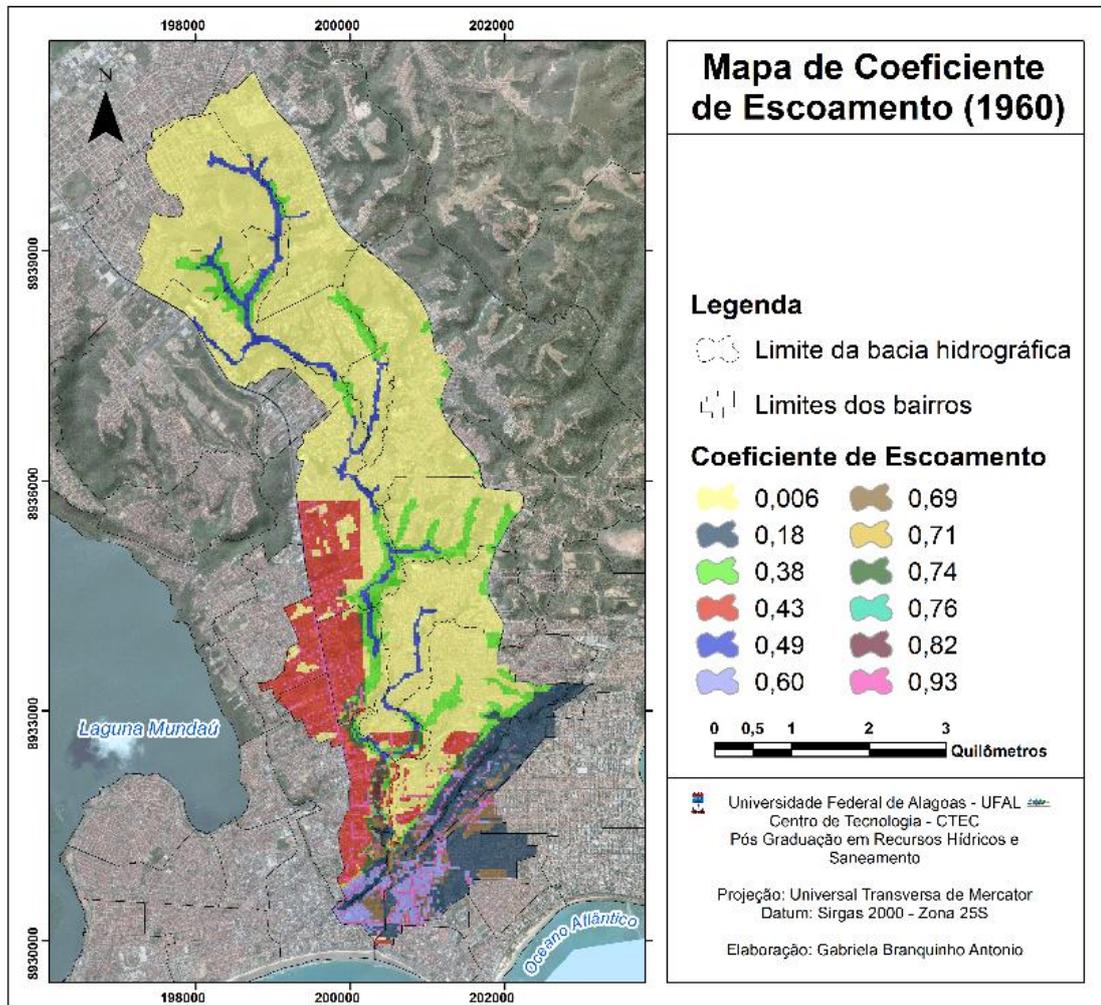
TC igual a 4 horas									
S (mm)	CN	TC (min)	I (mm/h)	P (mm)	IA	P - IA	cpre	qpre (m ³ /s)	qpre (L·s ⁻¹ ·ha ⁻¹)
397,28	39	240	23,93	95,73	79,46	16,27	0,01	0,00004	0,44
162,39	61	240	23,93	95,73	32,48	63,25	0,19	0,00111	12,32
89,24	74	240	23,93	95,73	17,85	77,88	0,38	0,00227	25,22
75,87	77	240	23,93	95,73	15,17	80,55	0,43	0,00259	28,83
63,50	80	240	23,93	95,73	12,70	83,03	0,49	0,00294	32,70
44,82	85	240	23,93	95,73	8,96	86,76	0,60	0,00358	39,76
31,39	89	240	23,93	95,73	6,28	89,45	0,69	0,00414	46,02
28,22	90	240	23,93	95,73	5,64	90,08	0,72	0,00429	47,67
25,12	91	240	23,93	95,73	5,02	90,70	0,74	0,00444	49,37
22,09	92	240	23,93	95,73	4,42	91,31	0,77	0,00460	51,10
16,21	94	240	23,93	95,73	3,24	92,48	0,82	0,00492	54,69
5,18	98	240	23,93	95,73	1,04	94,69	0,93	0,00562	62,39

Fonte: Autor (2017)

Ao verificar se a precipitação é maior que as perdas iniciais, obteve-se um resultado que permitiu aplicar o método racional para toda a bacia, pois para toda a área a precipitação foi superior as perdas iniciais.

O cpre 0,006 possui predominância pois corresponde a área de vegetação rasteira. Os valores de cpre para o grupo hidrológico B e áreas não urbanizadas são maiores do que o respectivo uso para o grupo hidrológico A, devido ao potencial de armazenamento (Figura 47).

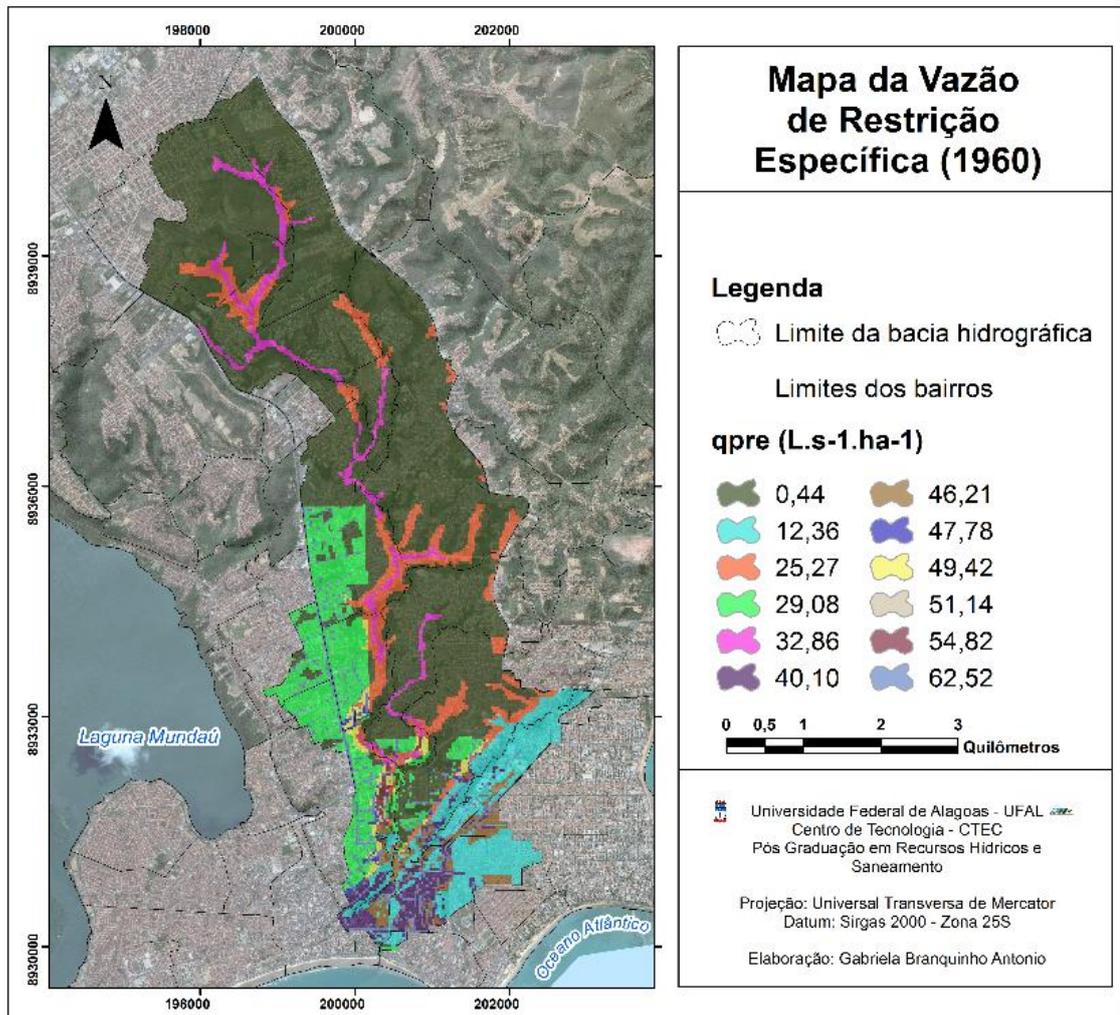
Figura 47. Cpre para tempo de concentração igua a 4 horas



Fonte: Autor (2017)

Qres médio é $11,91 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$, a vazão mais expressiva é $0,44 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ devido a sua correspondência com cpre de 0,06, em seguida tem-se $29,08 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ que está associado a áreas de loteamento (Figura 48).

Figura 48. Mapa com qpre para tempo de concentração igual a 4horas



Fonte: Autor (2017)

Foi possível observar que a medida que o tempo de concentração aumenta, as vazões vão se ajustando aos valores que vem sendo apresentados em dissertação, artigos e manuais, como pode ser visto na Quadro 16.

Quadro 15. Outras qpre (L.s⁻¹.ha⁻¹) para diferentes tempos de concentração (horas)

1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h
0,00	0,00	0,05	0,44	0,92	1,35	1,72	2,04	2,31	2,54
4,74	9,61	11,48	12,32	12,71	12,87	12,91	12,88	12,80	12,70
23,67	26,42	26,07	25,22	24,31	23,44	22,64	21,91	21,25	20,64
30,46	31,62	30,31	28,83	27,47	26,26	25,19	24,25	23,40	22,65
38,37	37,39	34,92	32,70	30,82	29,22	27,86	26,68	25,64	24,71
54,52	48,48	43,50	39,76	36,85	34,51	32,57	30,94	29,53	28,30
70,74	58,86	51,27	46,02	42,11	39,06	36,60	34,54	32,80	31,30
75,35	61,70	53,35	47,67	43,49	40,25	37,64	35,47	33,64	32,07

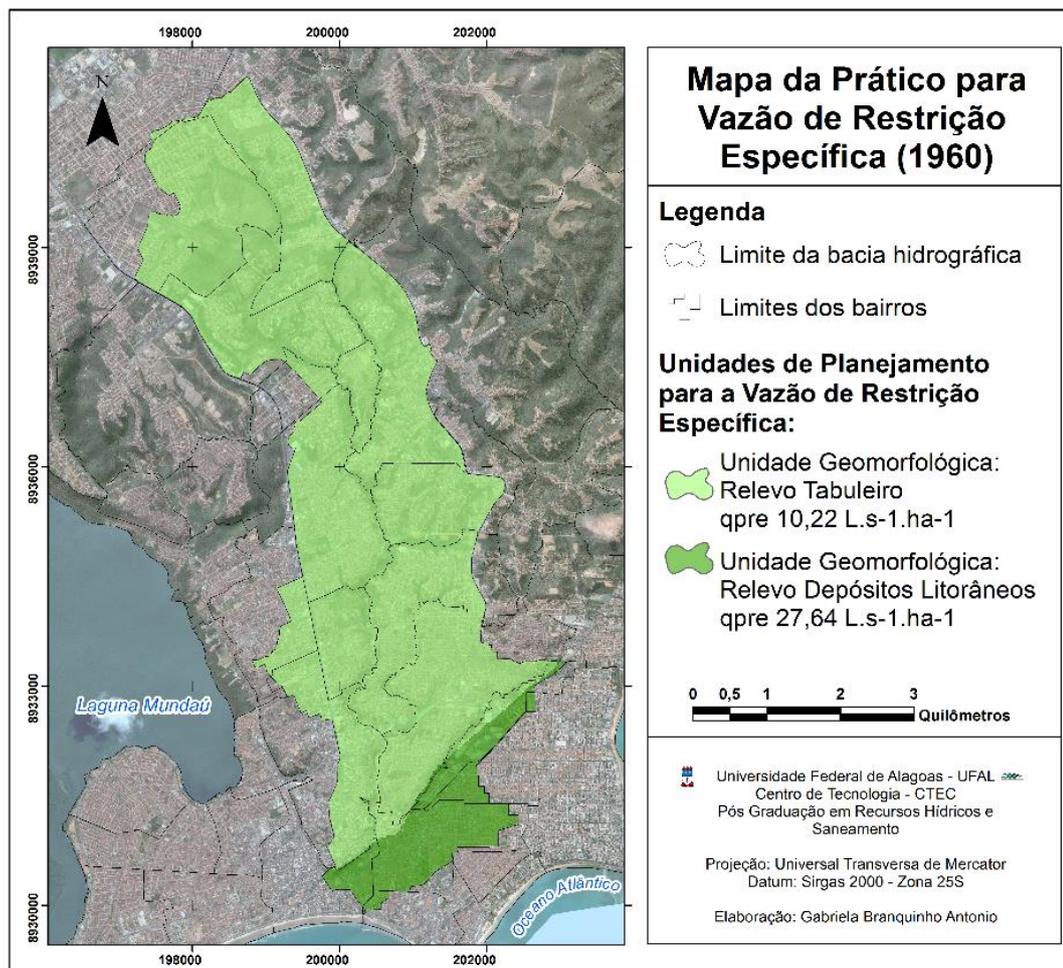
1h	2h	3h	4h	5h	6h	7h	8h	9h	10h
80,22	64,64	55,49	49,37	44,90	41,46	38,70	36,42	34,49	32,84
85,35	67,70	57,69	51,10	46,33	42,68	39,77	37,37	35,35	33,62
96,51	74,15	62,29	54,69	49,29	45,20	41,96	39,31	37,10	35,21
123,08	88,63	72,32	62,39	55,55	50,48	46,53	43,35	40,71	38,48

Fonte: Autor (2017)

6.3 Mapa Prático

Nesse item, serão apresentados os mapas práticos, para fins de planejamento e gestão. Na figura 49, é possível observar o primeiro mapa prático, foi utilizado somente a vazão específica de restrição para a duração igual a 4 horas, pois foi julgado como o resultado que apresentou melhores valores de qpre. Para a elaboração desse mapa foi utilizado as unidades geomorfológicas de relevo da bacia, sendo elas Tabuleiro e Depósito Litorâneo.

Figura 49. Mapa prático de qpre usando unidades de relevo para planejamento



Fonte: Autor (2017)

Os valores médios para a porção correspondente ao relevo tabuleiro são mais restritivos se comparado a vazão média para o depósito Litorâneo.

Posteriormente, foram elaborados mais 4 mapas, que serão apresentados em pares. As figuras 50 e 51 apresentam um cruzamento entre as áreas não propícias com o mapa prático da vazão específica de restrição.

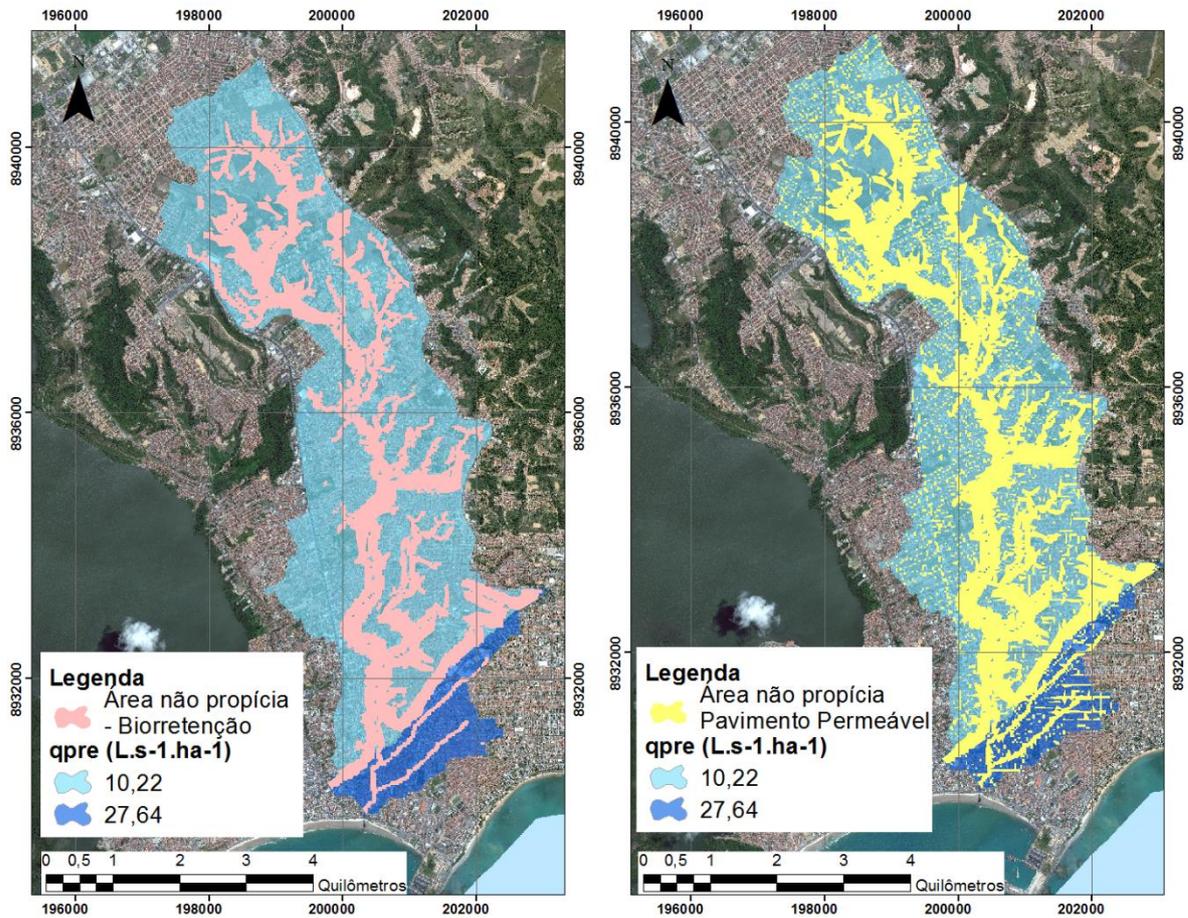
O cruzamento dessas informações tem por objetivo identificar um ponto importante, nas áreas não propícias a receber as técnicas compensatórias, não é possível que a vazão específica possa entrar em vigor naquela área, isso porque, ao estabelecer uma vazão de saída é necessário que em conjunto de técnicas compensatórias sejam instalados, de modo ser possível alcançar o limite estabelecido pela vazão específica de restrição.

O que foi possível observar de maneira geral, é que as áreas não propícias estão associadas a área com baixa permeabilidade do solo, de declividades acentuadas e fundos de vales.

As áreas de declividades acentuadas e fundos de vales por lei Federal (nº 12.651/2012), são consideradas áreas de risco, de modo que não deveriam estar ocupadas.

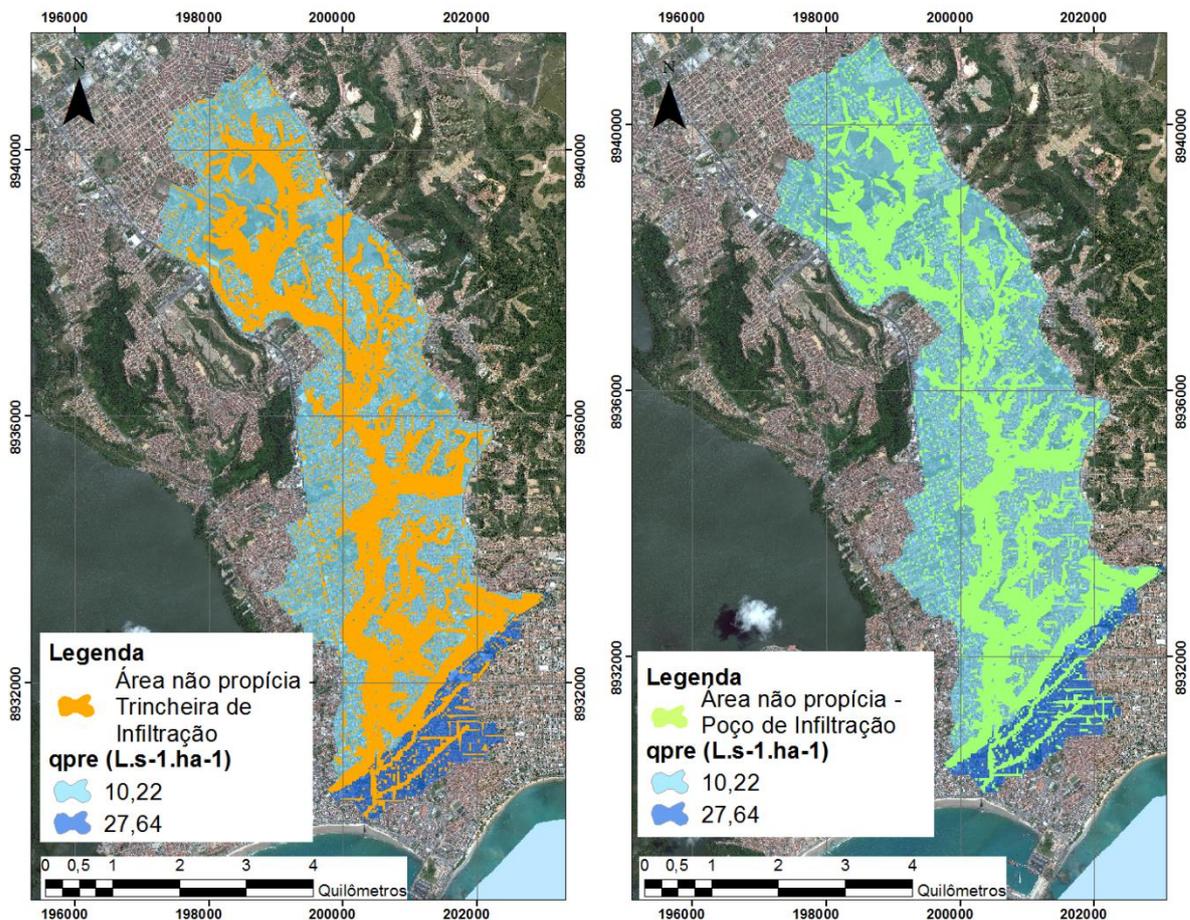
Considerando a ocupação das áreas não propícias e conseqüentemente a inviabilidade de estabelecer a vazão específica de restrição nessas áreas, se faz necessário pensar em outras soluções.

Figura 50. Mapa relacionando as áreas não propícias da biorretenção e do pavimento permeável com o mapa prático da vazão específica de restrição para duração igual a 4 horas



Fonte: Autor (2017)

Figura 51. Mapa relacionando as áreas não propícias da trincheira de infiltração e o poço de infiltração com o mapa prático da vazão específica de restrição para duração igual a 4 horas



Fonte: Autor (2017)

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 Mapeamento da aplicabilidade dos dispositivos de infiltração

A aplicação do mapeamento para identificação das áreas propícias apresentou que em média para cada dispositivo estudado existe uma área mínima propícia para a instalação dos dispositivos. Essa proporção pode aumentar se considerar as áreas com condições especiais como áreas de incentivo.

A restrição limitante foi a declividade, as áreas de APP e os solos do grupo hidrológico C e D, por apresentarem baixa permeabilidade. Apesar dos critérios e restrições selecionados serem balizadores, é de extrema importância que estudos geotécnicos mais aprofundados sejam realizados.

Dentre os dispositivos estudados, o poço de infiltração foi o dispositivo com menor quantidade de informação a respeito de critérios de decisão para a escolha de local adequado, em geral o único parâmetro usado era o de permeabilidade do solo.

A seleção de áreas de propícias para a implantação de técnicas compensatórias continua sendo um grande desafio e ainda é uma temática escassa na literatura nacional, devido a escolha dos critérios e de determinação de classes de restrições que tenham algum tipo de embasamento, além de ser necessário considerar a disponibilidade de dados.

Uma das grandes dificuldades nessa etapa foi a de determinar quais os critérios e as restrições que iriam compor a matriz de restrição, isso se deve a dificuldade em encontrar na literatura recomendações mais específicas a respeito das classes a serem usadas.

Para a declividade por exemplo, de maneira geral, é citado declividades altas e baixas, porém não determinado as classes de declividade exatas.

Apesar das dificuldades em se trabalhar com critérios para decisão de escolha de locais para implantação de técnicas compensatórias, é de grande importância que essas alternativas venham a ser cada vez mais discutidas e incorporada nos projetos urbanísticos e de drenagem urbana.

A transição entre os sistemas convencionais para os sustentáveis é lenta e a ausência de sistemas de análises, modelagem e otimização de parâmetros o torna um limitante para agilizar esse processo de transformação.

7.2 Vazão específica de Restrição

A aplicação do método racional junto ao método cinemático apresentou limitações para a bacia do Reginaldo, visto que a partir dele não foi possível obter os valores de q_{pre} devido as baixas precipitações, mostrando que talvez fosse necessário voltar a uma condição onde a urbanização fosse ainda menos expressiva.

A escala de trabalho pode ter sido um fator que influenciou os resultados, gerando velocidades e tempos de concentração pequenos, pois foi utilizado a cédula/pixel de $30m^2$ de área e o comprimento de 30 m. Seria interessante uma investigação visando analisar como e o quanto a escala de trabalho influencia na obtenção e nos valores de q_{pre} .

Como a bacia do Reginaldo apresenta predominância dos solos do grupo A indicando alto potencial de infiltração e baixo potencial para gerar escoamento superficial, foi utilizado um método que provocasse o escoamento na bacia.

Dessa forma, foi utilizada o método da duração pré-definida onde a partir da precipitação total e das perdas iniciais foram calculados as precipitações efetivas, a duração usada foi aquela que gerou uma precipitação que permitiu gerar o escoamento.

Apesar do método da duração pré-definida gerar q_{pre} 's para toda a bacia, os valores encontrados foram muito pequenos, não ultrapassando $8 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{ha}^{-1}$. Entretanto, foi possível observar que a partir de 160 minutos (2,6 horas) já é possível obter uma precipitação que gera escoamento.

A utilização do tempo e concentração igual 4hrs estudado por Vidal (2012), gera q_{pre} para toda a bacia, diferente do que ocorre com o tempo de concentração igual a 1h. Apesar de TC igual a 1 hora ser aceito na literatura, para algumas bacias pode não ser o ideal, isso porque Tucci, (2000; 2001) adotou um valor médio de c_{pre} para todos os solos hidrológicos, diferente do que foi realizado para a bacia do Reginaldo no presente trabalho.

Fica claro a necessidade de estudo mais aprofundados em alguns detalhes, buscando através de investigações entender melhor como e o quanto o tamanho da célula de análise e o tempo de concentração podem influenciar nos demais resultados, isso porque, ao calcular q_{pre} 's para outros tempos de concentração, foi possível observar que a partir de $TC = 3$ horas a bacia já consegue gerar algum tipo de escoamento, não sendo necessário chegar a $TC = 4$ horas, todavia, é necessário maiores embasamentos e investigações.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA – AGEITEC. Repositório de informações tecnológicas. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/oquee.html>. Acesso em: 01 de junho 2016.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. **Estudos Hidrogeológicos para Subsidiar a Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos Subterrâneos na Região Metropolitana de Maceió**. Relatório Final. 04 volumes. Brasília: ANA, SIP, 2011.

AHIABLAME, L.; M., ENGEL, B. A.; CHAUBEY, I. Effectiveness of low impact development practices in two urbanized watersheds: Retrofitting with rain barrel/cistern and porous pavement. **Journal of Environmental Management**. p. 151 – 161, 2013.

AMANTHEA, N. R.; NASCIMENTO, N. O. Urbanização de baixo impacto (LID): Uso de geotecnologias para estimativa do tempo de concentração de bacia em cenário de pré-desenvolvimento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, vol. 20 n.1, p. 249 – 266. 2015.

AMARAL, S. M. M.; BEMFICA, D. Comparação dos Volumes de Microrreservatórios de Detenção de Águas Pluviais em Municípios Brasileiros. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves – RS. **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, p. 1 – 8, 2013.

ARAGÃO, L.P.; FOGAÇA, T.K.; CATTANI, P.E.; CANEPARO, S.C. Geoprocessamento Aplicado à Seleção de Áreas para Implantação de Parques Urbanos na Bacia do Rio Verde/PR. **Geografia (Londrina)**, v.24, n. 1. p. 19 - 38, jan./jun., 2015.

BAEK, S.S.; CHOI, D.; JUNG, J.; LEE, H.; LEE, H.; YONN, K.; CHO, K.H. Optimizing low impact development (LID) for stormwater runoff treatment in urban area, Korea: Experimental and modeling approach. **Water Research**, v.86, n. 1, p. 122-131, 2015.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. Aspectos institucionais e de financiamento dos sistemas de drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, vol. 7, n.1, p.29-49, jan./mar. 2002.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 318 p.

BAPTISTA, L. F. S. et al. Parâmetros urbanísticos contemporâneos na aplicação e concepção do LID (low impact development). XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2013, Bento Gonçalves – RS. **Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, p. 1 – 8.

BELL, C. D.; SARA K. M.; SANDRA M. C.; ANNE J. J. Hydrologic response to stormwater control measures in urban watersheds. **Journal of Hydrology**, v. 541, Part B, p. 1488-1500, oct. 2016.

BENINI, R. M.; MENDIONDO, E. M. Urbanização e Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Mineirinho. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 211 - 222, 2015.

New Jersey. Department of Environmental Protection. **New Jersey Stormwater Best Management Practices Manual**. New Jersey, 2004.

BRASIL. Promulgada em 5 de outubro de 1988. **Constituição Federal de 1988**. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm>. Acesso: 15 de junho 2016.

_____. Ministério do Meio Ambiente dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Lei n. 9.433: Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília: Secretaria de Recursos Hídricos, 1997. 72p.

_____. Lei nº. 11.445 de 5 de Janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências.

Ministério das Cidades. **Programa Drenagem Urbana Sustentável: Manual para apresentação de propostas**. Disponível em: <<http://bibspi.planejamento.gov.br/bitstream/handle/iditem/203/ManualDrenagemUrbanaSustentavel2007.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 01/01/2016.

BRUNETTI, G., ŠIMUNEK, J., PIRO, P., A comprehensive numerical analysis of the hydraulic behavior of a permeable pavement. **Journal of Hydrology**. p. 1146–1161, 2016.

BURNS, M. J.; FLETCHER, T. D.; WALSH, C. J.; LADSONA, A. R.; HATTA., B. E. Hydrologic shortcomings of conventional urban stormwater management and opportunities for reform. **Landscape and Urban Planning**, v. 105, n. 3, p. 230 – 240, 2012.

CASQA - Stormwater Quality Association. **Stormwater Best Management Practice Handbook**. [Manual], 2004. 378 p.

CANHOLI, J., F. **Medidas de Controle “In Situ” do Escoamento superficial em áreas urbanas: Análise de Aspectos técnicos e legais**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Sanitária) - Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2013.

CAPUTO, U. K. **Avaliação do Potencial De Utilização de Trincheiras de Infiltração em Espaços Com Urbanização Consolidada / Estudo de Caso Do Município de Belo Horizonte – MG**. 2012. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

CARMO, W. J. E.; MARCHI, L. F. Plano diretor de drenagem urbana: visão holística. **Revista Jus Navigandi**, v. 18, n. 3796, novembro de 2013. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/25944>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

CARVALHO, J.C.; LELIS, A.C. Cartilha de infiltração. Brasília, UnB, 2010. 36 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. Lei estadual nº 12.726/1999 26 de novembro de 1999. Plano Diretor de Drenagem para a Bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba. Relatório Final – Volume 1. (Plano Diretor de Desenvolvimento Local). Prefeitura de Curitiba, Câmara de Vereadores, 1999.

Department of Environmental Protection. **Low Impact Development Standards Manual**. February 2014.

Companhia de pesquisa de Recursos Minerais (Brasília, DF). **Mapa Geodiversidade do Estado de Alagoas**. Brasília, 2012. Escala 1.250:000. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geodiversidade_alagoas_041215.pdf>. Acesso em 15 de ago. 2016.

CRUZ, M.A.S.; TUCCI, C.E.M. Avaliação dos Cenários de Planejamento na Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13 n.3, p. 59-71, jul./set. 2008.

CRUZ, M.A.S.; ARAÚJO, P. R.; AGRA, S. G.; SOUZA, V. C. B.; COLLISCHONN, W. Valorização da água no meio urbano: Um desafio possível. In: **XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, 2001, Aracaju, 2001.

DENARDIN, J. E.; FREITAS, P. L. Características Fundamentais da Chuva no Brasil. **Pesquisa Agropecuária**, v. 17, p. 1409-1416, 1982.

SO/DF – Secretaria de Estado de Obras do Distrito Federal. **Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal**. V.8, T.01/07, Concremat Engenharia, Brasília, 73p. 2009.

DRUMOND, P. 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) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, Belo Horizonte, 2012.

ELKNER, J. Welcome to Learn Computing with Python's documentation!. Capítulo 4: **Condicionais e recursividade**. Disponível em: http://www3.ifrn.edu.br/~jurandy/fdp/doc/aprenda-python/capitulo_04.html. Acesso em: 01 jan. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: **REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS**, 10., 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. **Diagnóstico Ambiental do Município de Maceió** – Anexo I-f – Levantamento Semidetalhado de Solos. 2005.

FARINA, Flávia. Abordagem sobre as técnicas de Geoprocessamento aplicadas ao planejamento e gestão urbana. **Cadernos EBAPE.BR (FGV)**, Rio de Janeiro, v. IV, n. 4, p. 2-13, 2006.

FERNANDES, N. B. **Planejamento territorial e águas urbanas em Maceió: O Plano Diretor e a Bacia Hidrográfica Urbana do Riacho Reginaldo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas do Espaço Habitado) – Universidade Federal e Alagoas, Alagoas, 2010.

FILHO, F. C. M. M.; TUCCI, C. E. M. Alteração na relação entre densidade habitacional x área impermeável. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 49 - 55, 2012.

FLETCHER, T. D., et al.. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. **Urban Water Journal**. p. 37 – 41, 2014.

GILROY, K. L.; MCCUEN, R., H.. Spatio-temporal effects of low impact development practices. **Journal of Hydrology**, v. 367, n. 3-4, p. 228 - 236, apr. de 2009.

GUO, J.C.Y. Preservation of watershed regime for low impact development through detention. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 15, n. 1, 2010.

HUANG, J.; HE, J.; VALEO, C.; CHU, A. Temporal Evolution Modeling of Hydraulic and Water Quality Performance of Permeable Pavements. **Journal of Hidrology**, v. 533, p. 15-27, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Banco de Dados Agregados**. 2010. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/Quadro/listabl.asp?z=cdeo=5ei=Pec=1287>. Acesso em 24 de 10 de 2016.

INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE ALAGOAS (Maceió, AL). **Cartas Topográficas**. 2016 Disponível em: <<http://ima.al.gov.br/servicos/downloads/download-dados-matriciais/>>. Acesso em: 20 de ago. 2016.

JIA, H.; YAO, H.; TANG, I.; YU, S. L.; FIELD, R., TAFURI, A. N. LID-BMPs planning for urban runoff control and the case study in. **Journal of Environmental Management**, v. 149, p. 65 - 76, feb. 2015.

KATSIFARAKIS, K. L.; VAFEIADIS, M.; THEODOSSIOU, N. Sustainable Drainage and Urban Landscape Upgrading Using rain gardens. Site Selection in Thessaloniki, Greece. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, v. 4, p. 338 – 347, 2015.

KUMAR, K.; KOZAK, J.; HUNDAL, L.; COX C. A.; ZHANG, H.; GRANATO, T. In-situ infiltration performance of different permeable pavements in a employee used parking lot e A four-year study. **Journal of Environmental Management**, p. 8 – 14, 2016.

LEE, J. G. et al. A watershed-scale design optimization model for stormwater best management practices. **Environmental Modelling e Software**, v. 37, p. 6 - 18, 2012.

LIMA, J. E. F. W., et al. Variabilidade espaço-temporal da vazão específica média no estado de Goiás. In: **9 Simpósio Nacional do Cerrado**. Desafios e estratégias para o equilíbrio entre sociedade, agronegócio e recursos naturais. Brasília, 2008.

LIU, Y., et al. Optimal selection and placement of BMPs and LID practices with a rainfall-runoff model. **Environmental Modelling e Software**, v. 20, p. 281 – 295, 2016.

LOPERFIDO, J. V.; NOE, G. B.; JARNAGIN, S. T.; HOGAN, D. M.. Effects of distributed and centralized stormwater best management practices and land cover on urban stream hydrology at the catchment scale. **Journal of Hydrology**, p. 2584-2595, 2014.

LIMA, J. O. P., SILVA, E. H. B. C. Equação para determinação do volume de detenção de micro-reservatórios em Feira de Santana-BA. In: Encontro Nacional de Águas Urbanas, 9., 2012, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: **ABRH**, 2012. 1 CD-ROM.

MAGALHÃES, S.F.C. ; FRANCELINO, M. R. ; SALAMENE, S. . Uso de geoprocessamento na estimativa da vazão da micro-bacia do córrego atalaia em Macaé, RJ. In: III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2010, Recife. **Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, 2010.

MATIAS, L. F., NASCIMENTO, E. D. . Geoprocessamento aplicado ao mapeamento das áreas de ocupação irregular na cidade de Ponta Grossa (PR). **Geografia (Londrina)**, Rio Claro, v. 31, n. 2, p. 317-330, 2006.

MARTIN, C.; RUPERD, Y.; LEGRET, M.; Urban stormwater drainage management: The development of a multicriteria decision aid approach for best management practices. **European Journal of Operational Research**, v. 181, p. 338–349, 2007.

MARTIN-MIKLEA, et al. Identifying priority sites for low impact development (LID) in a mixed-use watershed. **Landscape and Urban Planning**. p. 29 – 41, 2015.

MASSDEP - MASSACHUSETTS DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION. **Massachusetts Stormwater Handbook**. 2008.

MCPHERSON, M. B. **Hydrological effects of urbanization**. Paris: The Unesco Press, 1974.

MELO, T. DOS A. T. de; COUTINHO, A. P.; SANTOS, J. B. F. dos; CABRAL, J. J. da S. P.; ANTONINO, A. C. D.; LASSABATERE, L. Trincheira de infiltração como técnica compensatória no manejo das águas pluviais urbanas. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 3, p. 53-72, jul./set. 2016.

MILLER, J. D.; GREBBY, S. Mapping long-term temporal change in imperviousness using topographic maps. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 30, p. 09 - 20, 2014.

MILLER, J. D.; KIM, H.; KJELDSEN, T. R.; PACKMAN, J; GREBBY, S.; DEARDEN, R. Assessing the impact of urbanization on storm runoff in a peri-urban catchment using historical change in impervious cover. **Journal of Hydrology**, v. 515, p. 59 - 70, 2014.

MOREIRA, L. L. , SCHWAMBACK, D. , CORREA, N. R. , COELHO, A. L. N. . SIG aplicado à seleção de áreas potenciais para instalação de aterro sanitário no município de Serra - ES. **Geociências (São Paulo. Online)**, v. 35, p. 531-541, n. 2016.

MUGUME, S.N.; GOMEZ, D. E.; FU, G.; FARMANI, R.; BUTLER, D. A global analysis approach for investigating structural resilience in urban drainage systems. **Water Research**, v. 81, p. 15 - 26, 2015.

NASCIMENTO, V.M.L.; LIMA, E.R.V. de; SANTOS, C.A.G. SIG na avaliação de áreas para ocupação urbana de João Pessoa, PB. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n.1, p. 107-123, jan./mar. 2009.

NORÉN, V.; HEDELIN, B.; NYBERG, L. BISHOP, K. Flood risk assessment – Practices in flood prone Swedish municipalities. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 18, p. 206–217, 2016.

PEITER, T.V.; POLETO, C. Estudos dos efeitos de trincheiras de infiltração sobre o escoamento superficial. **Revista de estudos ambientais (Online)**, v. 14, n. 2, p. 57-67, 2012.

PEIXOTO, V.C. **Análise paramétrica e dimensionamento de poços de infiltração para fins de drenagem urbana**. 2011. 111 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.

PEPLAU, G., J., R. **Análise de Critérios para Definição de Vazão de Restrição para o Controle do Escoamento Superficial Urbano. Estudo de Caso: Bacia Hidrográfica do Riacho do Sapo, Maceió – AL**. 2013. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2013.

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, out./dez. de 2014.

PEREIRA, D.L. (Org.) et al. **Plano diretor Maceió – Alagoas**. Maceió, 2006. Disponível em:
http://sempla.maceio.al.gov.br/sempla/dpu/PLANO%20DIRETOR_MAPAS%20A3/PLANO%20DIRETOR%202006_AT3.pdf. Acesso em 16 de Agosto de 2016.

PETIT-BOIXA, ANNA, et al. Environmental and economic assessment of a pilot stormwater infiltration system for flood prevention in Brazil. **Ecological Engineering**, v. 84, p. 194 - 201, 2015.

Pickbrenner, K.; Pedrollo, M. C.; RISSO, A.. Determinação do CN utilizando geoprocessamento: simulação hidrológica na Bacia do rio Criciúma. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, João Pessoa/PB. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2005.

PINHEIRO, M. R. C.; WERNECK, B. R.; OLIVEIRA, A. F.; MOTE, F.; MARCAL, M. S.; SILVA, J. A. F.; FERREIRA, M. I. P.. Geoprocessamento aplicado à gestão dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio. In: **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal-RN. Anais. 2009. p. 4247 – 4254.

PONCE, V.M.; HAWKINS, R.H. Runoff Curve Number: Has It Reached Maturity. **Journal of Hydrology Engineering**, v. 1, n.1, 1986.

PONCE, V. M., AND L. MAGALLON. Comparación entre modelos de flujo de agua superficial. **XXVII Latin American Hydraulics Congress, International Association for Hydraulic Research**, Lima, Peru, September 28-30, 2016. Disponível em: http://ponce.sdsu.edu/comparacion_entre_modelos_de_flujo_de_agua_superficial.html. Acesso em novembro de 2016.

PREFEITURA DE BAURU. **Plano Diretor de Drenagem e manejo das águas pluviais - Plano de Saneamento Municipal**. Bauru, 2014.

PREFEITURA DE GUARULHOS. **Plano Diretor de Drenagem Diretrizes, Orientações e Propostas**. Guarulhos, 2008.

PREFEITURA DE NATAL. **Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da Cidade do Natal – Manual de Drenagem**. Natal/ RN: LR Engenharia e Consultoria Ltda., 2009.

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. **Decreto N ° 15.371, de 17 de novembro de 2006**. Regulamenta o controle da drenagem urbana. Porto Alegre.

PREFEITURA DE RECIFE. **Plano diretor de drenagem e manejo de águas pluviais da cidade Recife**. 2015.

PREFEITURA DE SÃO PAULO. **Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais de São Paulo PMAP-SP**. 2012.

PREFEITURA DE VITÓRIA. **Plano Diretor de Drenagem Urbana do Município de Vitória**. Vitória: Etep e Engecorps, 2008.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CAMPO GRANDE. **Plano Diretor De Drenagem Urbana De Campo Grande: Medidas de Controle Não-Estruturais**. Relatório-R4, 2008.

REZENDE, F. S.; LEITE, M. B. A ; CARRIELLO, F. . Áreas potenciais para implantação de aterro sanitário em Ilha Grande, RJ. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR,, 2015, João Pessoa - PB. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, 2015.

ROCHA, P. G. O. , XIMENES, T. C. F. , GUERRA, S. M. S. . Geoprocessamento aplicado a seleção de áreas para implantação de aterro sanitário: Estudo de caso, consórcio brejo madre de deus e Juatuba- PE. **Revista Brasileira de Geotecnologias, Agricultura e Meio Ambiente**, v.2, n.1, 2015.

RIVERSIDE COUNTY FLOOD CONTROL AND WATER CONSERVATION DISTRICT. **Design HANDBOOK for Low Impact Development Best Management Practices**. Riverside: CA, 2011.

ROMAN, A., C. **Controle Da Drenagem na Fonte e sua Compatibilização ao Plano Municipal de Saneamento Ambiental de Santa Maria**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2015.

SARAIVA, M.G.A.N. - **O Rio como Paisagem: Gestão de Corredores Fluviais no do Ordenamento do Território**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1999. 512 p.

SARTORI, A.; NETO, F.L.; GENOVEZ, A.M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n.4, p. 05-18, Out/Dez 2005.

SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO - SEPLANDE. **Banco de Dados**. 2016. Disponível em: <<http://dados.al.gov.br/s/>>. Acesso em 21 de junho de 2016.

SILVA, W.F. **Análise da vulnerabilidade das águas subterrâneas à contaminação na Região Metropolitana de Maceió**. 2013. 158 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, Alagoas, 2013.

SILVA, R.R.; CANDEIRAS, A.L.B.; FILHO, J.C.A.; Utilização da Lógica Fuzzy para mapeamento de solos do município de Petrolândia – PE. **Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE. p. 568.

SMDU - SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO URBANO. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; diretrizes para projetos**. São Paulo: SMDU, 2012. p. 220. v.3

SOBRINHO, R.A.; NEVES, R.F. Ações integradas de manejo de águas pluviais no Estado da Bahia: O estudo de caso do Município de Lauro de Freitas / BA. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 3, n.2, p. 100-108, 2015.

SOULIS, K.X.; VALIANTZAS, J.D. SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds – the two-CN system approach. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 16, p. 1001-1015, 2012.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; e TUCCI, C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 17, n. 2, p. 9 – 18, abr/ jun, 2012.

TOMINAGA, E. N. S. **Urbanização e cheias: Medidas de controle na Fonte**. 2013. 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

TRUDEAU, M.P.; RICHARDSON, M.; Empirical assessment of effects of urbanization on event flow hydrology in watersheds of Canada's Great Lakes-St Lawrence basin. **Journal of Hydrology**, v. 541, Part B, p. 1456 – 1474, 2016.

TUCCI, C.E.M; PORTO, R.L.; BARROS, M.T. **Drenagem Urbana**. Editora da Universidade/UFRGS, Porto Alegre, RS, 1995.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n.1, p. 61 - 68, 2000.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da drenagem urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 5-27, jan./mar. de 2001.

TASSI, R., VILLANUEVA, A. O. N. Análise do impacto dos microrreservatórios nos custos de uma rede de drenagem urbana. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v 9, n. 3, p 89 - 98, Jul/Set 2004.

TUCCI, C.E.M. (Org.); VILLANUEVA, A.O.N. (Org.). **Plano diretor de drenagem urbana: Manual de Drenagem Urbana**. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Volume 4, 2005. 167 p.

TUCCI, C. E. M, Programa de Águas Pluviais. Ministério das Cidades. Governo Federal, 2005.

URBONAS, B; STAHARE, P. **Stormwater best management practices and detention**. New Jersey, 1993.

USDA - U. S. Department of Agriculture. **Urban Hydrology for Small Watersheds**. Technical Release 55. 1986. 164p.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F.; ALBUQUERQUE, P. C. G. Topodata: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfométricos locais em cobertura nacional. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal, RN. **Anais**, São José dos Campos, SP: INPE, 2009. v. CD-ROM. p. 1-8.

VIDAL, D. H. F. **Modelagem hidrodinâmica como suporte a avaliação e proposição de alternativas compensatórias para mitigação dos problemas de cheias urbanas na bacia do riacho Reginaldo em Maceió-AL**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

WANG, M., et al. Assessing cost-effectiveness of bioretention on stormwater in response to climate change and urbanization for future scenarios. **Journal of Hydrology**, v. 543, Part B, p. 423-432, 2016.

WOODS-BALLARD, B.; KELLAGHER, R.; MARTIN, P.; JEFFERIES, C.; BRAY, R.; SHAFFER, P. **The SuDS manual**. Manual Técnico, London: Ciria, 2007.

YONG, C.F.; MCCARTHY, D.; DELETIC, A. Predicting physical clogging of porous and permeable pavements. **Journal of Hydrology**, v. 481, P. 48-55, 2013.