

ARTHUR LOPES HORIUCHI
MARCELO FUJIWARA LEÃO DE ANDRADE
RAFAEL APPUGLIESE GIROTT

ESTUDO DE CONCEPÇÃO DE INFRAESTRUTURAS PARA CONTROLE
DE CHEIAS E CARGAS POLUIDORAS – BACIA DO JACAREZINHO

Projeto de Formatura apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo, no âmbito
do Curso de Engenharia Ambiental

São Paulo
2017

ARTHUR LOPES HORIUCHI
MARCELO FUJIWARA LEÃO DE ANDRADE
RAFAEL APPUGLIESE GIOTTO

ESTUDO DE CONCEPÇÃO DE INFRAESTRUTURAS PARA CONTROLE
DE CHEIAS E CARGAS POLUIDORAS – BACIA DO JACAREZINHO

Projeto de Formatura apresentado à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo, no âmbito do Curso de
Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Joaquin Ignacio Bonnecarrère Garcia

São Paulo
2017

Catalogação-na-publicação

Horiuchi, Arthur

Estudo de Concepção de Infraestruturas para Controle de Cheias e Cargas Poluidoras - Bacia do Jacarezinho / A. Horiuchi, M. Andrade, R.

Giroto -- São Paulo, 2017.

70 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental.

1.Recursos Hídricos 2.Drenagem Urbana 3.Qualidade da Agua 4.Bacia Hidrográfica I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Hidráulica e Ambiental II.t. III.Andrade, Marcelo IV.Giroto, Rafael

AGRADECIMENTOS

Primeiramente às nossas famílias e demais pessoas queridas que fazem parte de nossas trajetórias de vida. Sem vocês, não estaríamos realizando o sonho de nos tornarmos engenheiros.

Ao Prof. Dr. Joaquin Ignacio Bonnecarrére Garcia pela orientação, ensinamento, cobrança, paciência e dedicação.

Aos Profs. Drs. Renato Carlos Zambon e Dione Mari Morita pelas orientações e conselhos concedidos na etapa final do projeto.

Às Engenheiras da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica Ana Paula Brites e Erika Tominaga pelo suporte nas questões técnicas e pelo compartilhamento de informações que subsidiaram a elaboração do trabalho.

À CHI (*Computacional Hydraulics International*) por disponibilizar uma licença temporária gratuita do software PCSWMM 2017 Professional para a elaboração do estudo.

À Engenheira Carla Voltarelli Franco da Silva, do Laboratório de Desenvolvimento de Sistemas de Suporte à Decisão (LabSid), pelo suporte na utilização do PCSWMM.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO E OBJETIVO	8
2	METODOLOGIA.....	9
2.1	Revisão Bibliográfica	9
2.2	Caracterização Geral da Área de Estudo	9
2.2.1	Uso e Ocupação do Solo.....	10
2.2.2	População	11
2.2.3	Rede Coletora de Esgoto	12
2.2.4	Topografia e Hidrografia.....	13
2.3	Visitas Técnicas.....	15
2.3.1	Visita de Reconhecimento	15
2.3.2	Visita de Levantamento de Dados Adicionais.....	17
2.4	Definição do Problema	18
2.5	Estruturação do Modelo	19
2.5.1	Divisão e Caracterização de Subbacias	19
2.5.2	Nós e Condutos.....	25
2.5.3	Chuvas de Projeto	34
2.5.4	Aspectos de Qualidade da Água.....	37
2.5.5	Remanso Hídrico	39
2.6	Verificação do Modelo	39
3	PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES	44
3.1	<i>Best Management Practices</i> (BMP's)	44
3.1.1	Célula de biorretenção/Jardim de chuva.....	44
3.1.2	Trincheira de infiltração	44
3.1.3	Pavimento poroso	44
3.1.4	Calha de telhado com barris de chuva.....	45
3.1.5	Telhado verde	45
3.1.6	Análise Comparativa das BMP's.....	45
3.2	Parque Linear.....	46
3.3	Ocupações Irregulares	46
3.4	Cenários Propostos	46
3.5	<i>Best Management Practices</i> Não Estruturais	47
4	RESULTADOS	48
4.1	Cenário 1	48
4.2	Cenário 2	50
4.3	Cenário 3	58
4.4	Cenário 4	61
5	CONCLUSÃO.....	66
6	REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICAS	68

RESUMO

Decorrente de grande crescimento e adensamento populacional nas grandes cidades, a ocupação desordenada é um dos principais problemas contemporâneos nas áreas urbanas. No caso da cidade de São Paulo, apesar de seus impactos serem mais evidentes nos tempos atuais, é preciso salientar que a ocupação de áreas impróprias para moradia é um fenômeno causado pela falta de planejamento de uso e ocupação do solo e ineficiência de políticas habitacionais adotadas preteritamente.

A ocupação de áreas impróprias, como várzeas de rios, encostas íngremes e áreas de proteção ambiental acaba por expor as populações a prejuízos materiais e humanos, decorrentes de deslizamentos de terra e enchentes, configurando uma grave questão socioambiental. A falta de infraestrutura adequada nessas áreas é um fator agravante, pois coloca em risco a qualidade ambiental de recursos naturais essenciais, comprometendo importantes serviços ambientais.

O objetivo deste estudo é, a partir de um diagnóstico elaborado para uma bacia hidrográfica urbana consolidada, propor alternativas para controle do aporte de cargas (pontuais e difusas) aos corpos hídricos e fornecer segurança em relação a cheias à população do entorno nos eventos de precipitação intensa.

Os métodos utilizados na elaboração do estudo envolveram revisão bibliográfica, coleta e interpretação de dados secundários, visitas técnicas, modelagem por meio do *software* PCSWMM, proposição de alternativas e cenários, simulação da eficácia e eficiência dos cenários propostos e um pré-dimensionamento de estruturas e custos necessários. Os quatro cenários foram propostos para serem implementados de maneira cronológica e cumulativa.

Para o Cenário 1, foi proposta uma expansão da atual rede de coleta de esgoto, direcionando o esfluente para o coletor tronco principal da região. Os resultados indicaram reduções de até 90% na concentração de tempo seco dos parâmetros de qualidade analisados, não havendo significativa alteração nos picos de concentração relacionados às cargas de lavagem. O Cenário 2, além das estruturas do primeiro cenário, previu estruturas para eliminação da mancha de inundação observada nas proximidades do exutório. Foi proposta a instalação de um parque linear, com pequenos reservatórios *in-line*, alternativa que se mostrou eficaz, além de promover o destaque do corpo hídrico na paisagem. Em adição às medidas já citadas, o Cenário 3 propôs a adequação de uma estrutura de travessia do córrego principal. Tal estrutura mostrava-se como um gargalo ao escoamento, sendo necessária a intervenção. O Cenário 4 envolveu a instalação de pavimento poroso em áreas de interesse, com o objetivo de diminuir o escoamento superficial e contenção de poluição difusa. Apesar da área relativamente pequena para a qual se propôs a instalação, os resultados se mostraram favoráveis tanto no aspecto quantitativo, como no qualitativo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da Bacia do Jacarezinho na Região Metropolitana de São Paulo	9
Figura 2 – Bacia do Jacarezinho – Imagem de satélite.....	10
Figura 3 - Uso e ocupação do solo - Bacia do Jacarezinho.....	11
Figura 4 – Densidade populacional - Bacia do Jacarezinho.....	12
Figura 5 - Rede coletora de esgoto que atende a região da Bacia do Jacarezinho	13
Figura 6 – Modelo do terreno em 3D - Bacia do Jacarezinho.....	14
Figura 7 – Hidrografia regional, com destaque à área de estudo	14
Figura 8 – Principais pontos observados durante a visita.....	15
Figura 9 – Vista de montante do Córrego Jacarezinho..... (Rua Noronha dos Santos).....	16
Figura 10 – Resíduos lançados à margem	16
Figura 11 – Armazenamento das caçambas próximas ao corpo hídrico.	16
Figura 12 – Confluência de córrego com Jacarezinho	17
Figura 13 – Exemplar de ponto de lançamento de esgoto.....	17
Figura 14 – Acúmulo de resíduos nas margens do corpo hídrico.	18
Figura 15 – Divisão em 17 subbacias.....	20
Figura 16 – Mapa pedológico - Bacia do Jacarezinho.....	23
Figura 17 – Subbacias e respectivos <i>Curve Number</i> (CN).....	24
Figura 18 – Localização das seções transversais e pontos de levantamento topográfico.....	26
Figura 19 – Transição entre a Seção 02 (retangular com gabião) e a Seção 01 (trapezoidal, em estado natural), ao fundo.	29
Figura 20 – Vista da Seção 06.1.....	29
Figura 21 – Exemplar de travessia, na transição da Seção 03 para a Seção 02.....	30
Figura 22 - Localização dos pontos com inserção de vazão de base natural.....	32
Figura 23 – Ocupações irregulares com ligação de esgoto diretamente no córrego.	33
Figura 24 – Pontos de lançamento de esgoto e respectivas áreas de contribuição.....	34
Figura 25 – Hietograma (T=10 anos)	35
Figura 26 – Hietograma (T=20 anos)	35
Figura 27 – Hietograma (T=50 anos)	36
Figura 28 – Hietograma (T=100 anos)	36
Figura 29 – Ponto de medição (FCTH) e Seção de controle.....	40
Figura 30 – Resultados obtidos na calibração do nível d’água na seção de controle.....	41
Figura 31 – Verificação do Modelo: DBO (09/01/2017).	42
Figura 32 – Verificação do Modelo: SST (09/01/2017).....	42
Figura 33 – Verificação do Modelo: Fósforo (06/02/2017).	43
Figura 34 – Fluxograma representativo das etapas de implementação	47
Figura 35 – Cenário 1: Rede de Coleta de Esgoto Prevista.....	48
Figura 36 – Cenário 1: Resultados para DBO.	49
Figura 37 – Cenário 1: Resultados para SST.....	49
Figura 38 – Cenário 1: Resultados para Fósforo total.....	50
Figura 39 - Mancha de inundação na Bacia do Jacarezinho (T=50 anos).....	51
Figura 40 – Perfil do nível da água na seção problemática a ser abordada no Cenário 3.	51
Figura 41 – Localização do parque linear proposto.	52
Figura 42 - Ilustração do parque linear proposto.....	53
Figura 43 – Barragem com orifício de descarga rente ao fundo, evitando acúmulo de sedimentos.	54
Figura 44 – Localização do Parque linear e suas barragens.....	54
Figura 45 – Perfil do Nível d’água - Barragem 1	55

Figura 46 – Perfil do Nível d’água - Barragem 2	55
Figura 47 – Perfil do Nível d’água - Barragem 3	56
Figura 48 – Perfil do Nível d’água - Barragem 4	56
Figura 49 – Hidrograma da seção de jusante aos reservatórios propostos	57
Figura 50 – Perfil do nível d’água na seção de interesse.....	59
Figura 51 – Seção problemática - montante	59
Figura 52 - Seção problemática - jusante.	60
Figura 53 – Perfil do nível d’água na seção de interesse (após melhoria).	60
Figura 54 – Áreas passíveis de implementação de pavimento poroso na região da Bacia do Jacarézinho.	62
Figura 55 – Perfil Construtivo do Pavimento.....	63
Figura 56 – Cenário 4: Resultados para DBO	63
Figura 57 – Cenário 4: Resultados para SST.....	64
Figura 58 – Cenário 4: Resultados para Fósforo total	64
Figura 59 – Hidrograma da seção de controle – T=50anos	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Uso e ocupação do solo – Bacia do Jacarezinho.....	10
Tabela 2 - Classificação hidrológica de solos para as condições brasileiras.....	22
Tabela 3 – Valores de <i>Curve Number</i> utilizados para as classes de uso e ocupação do solo...	23
Tabela 4 – Características das subbacias.....	25
Tabela 5 – Características das seções utilizadas.....	26
Tabela 6 – Valores típicos do coeficiente de Manning.	31
Tabela 7 – Coeficientes n de Manning utilizados na estruturação do modelo.	31
Tabela 8 – Cálculo da vazão de base.....	32
Tabela 9 – Cálculo de vazão de esgoto.	34
Tabela 10 – Valores de concentração média de tempo seco.	38
Tabela 11 – Parâmetros de qualidade da água - DBO	39
Tabela 12 – Parâmetros de qualidade da água - SST	39
Tabela 13 – Parâmetros de qualidade da água – P Total	39
Tabela 14 – Comparação entre alternativas de BMP's estruturais.....	45
Tabela 15 - Comparativo entre os tipos de materiais para a camada superficial.....	61
Tabela 16 - Redução na concentração de poluentes.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- BMP – *Best Management Practices*
GIS – *Geographic Information System*
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio
FCTH – Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
P – Fósforo
PRFV – Plástico Reforçado com Fibra de Vidro
SMA – Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo
SST – Sólidos Suspensos Totais
SWMM – *Storm Water Management Model*
UASB – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*
USEPA – *United States Environmental Protection Agency*

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

O crescimento populacional e a ocupação desordenada de áreas impróprias para habitação são atualmente uma realidade encontrada em centros urbanos. No Brasil esse é um fenômeno relativamente recente, já que apenas na década de 1960 a população urbana superou a rural e, segundo o Censo Demográfico realizado em 2010, 84,36% da população reside em áreas urbanas (IBGE, 2010).

A ocupação de áreas de risco, sujeitas à ocorrência de eventos de enchentes e deslizamentos de encostas, por exemplo, expõe a população a prejuízos materiais e humanos, se configurando em um grave problema socioambiental. Também são recorrentes os casos de ocupação de áreas de proteção ambiental, essenciais para manutenção da biodiversidade e de recursos essenciais, como a água.

Apesar de mais de 80% da população brasileira ser atendida com redes de abastecimento de água, o índice de atendimento com rede coletora de esgotos é de apenas 50,3% (BRASIL, 2015). As ocupações irregulares, desprovidas de coleta e tratamento de esgotos, acabam por degradar a qualidade dos corpos hídricos adjacentes com lançamento de grandes cargas poluidoras decorrentes da deficiência na infraestrutura de saneamento supracitada.

Os impactos à qualidade dos corpos hídricos decorrentes da urbanização e ocupação desordenada não se resumem apenas ao lançamento de cargas pontuais, como é o caso do esgoto, mas também de cargas difusas, que geralmente são carreadas pela água pluvial.

O presente estudo tem como objetivo a execução de um diagnóstico dos principais aspectos relacionados à qualidade da água e inundações na Bacia do Jacarezinho e, com isso, analisar possibilidades para promoção de melhoria da qualidade da água, bem como proporcionar segurança à população do entorno em eventos de precipitação intensa. Serão analisadas tanto alternativas estruturais, quanto não estruturais, sendo que todas as infraestruturas propostas contemplarão um pré-dimensionamento e estimativa de custos.

Este estudo insere-se em um contexto mais amplo, abordado pela Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica no Projeto Jaguaré (FCTH, 2017). O que motiva a escolha da Bacia do Jacarezinho, subbacia do Jaguaré, como área objeto de estudo é a execução de um diagnóstico e proposição de alternativas por meio de uma análise com diferente escala espacial daquela utilizada pela FCTH.

2 METODOLOGIA

2.1 Revisão Bibliográfica

A primeira etapa do projeto consistiu em uma ampla pesquisa bibliográfica, a qual se fez necessária para melhor entendimento dos conceitos que seriam trabalhados nas etapas posteriores do estudo, como: poluição pontual, poluição difusa, carga de lavagem, *best management practices*, entre outros.

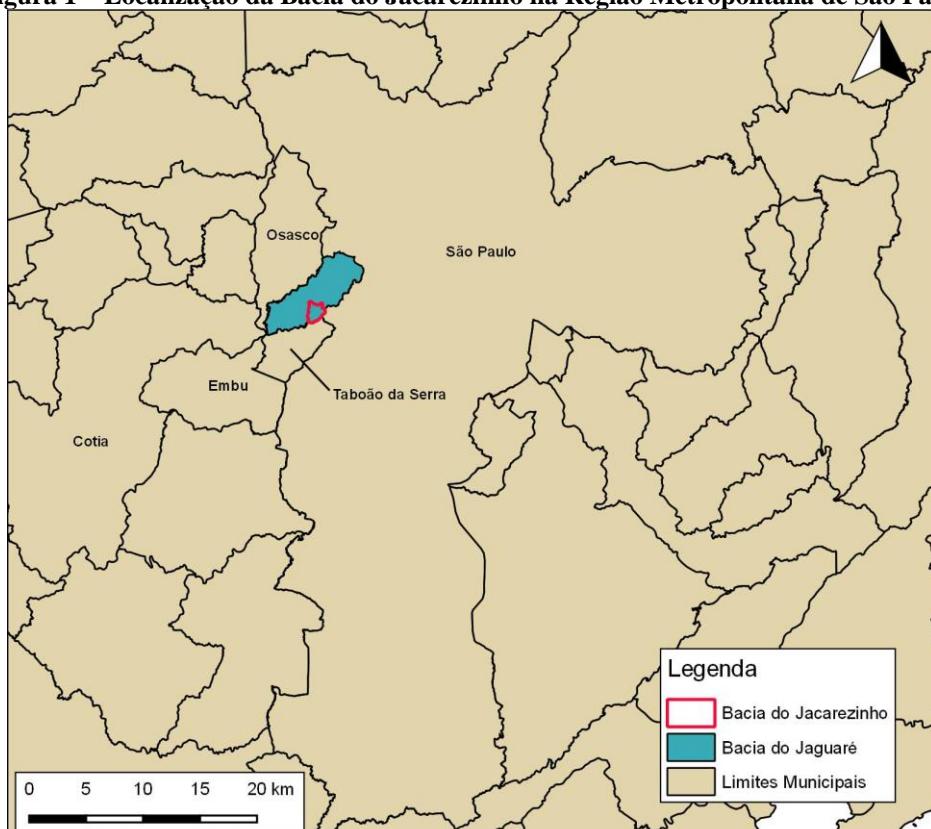
Além do entendimento dos principais conceitos, a revisão bibliográfica tem sua importância quanto a análise de estudos de casos já realizados em outras bacias urbanas, permitindo a obtenção de um melhor direcionamento ao projeto.

2.2 Caracterização Geral da Área de Estudo

A partir de informações cedidas pela FCTH e outras levantadas por meio de outras fontes foi possível elaborar uma caracterização prévia da área de estudo. Ressalta-se que as informações levantadas subsidiaram também etapas posteriores do trabalho, exibidas de maneira mais oportuna adiante.

A Bacia Hidrográfica do Jacarezinho consiste em uma subbacia da Bacia do Córrego do Jaguá, um dos principais afluentes do Rio Pinheiros. É relativamente pequena, de área aproximada 1,98km², localizada integralmente no município de São Paulo, fazendo fronteira com Taboão da Serra. As Figuras 1 e 2 ilustram a localização da área de estudo.

Figura 1 – Localização da Bacia do Jacarezinho na Região Metropolitana de São Paulo



Fonte: Autores. Adaptado de Prefeitura do Município de São Paulo (2017) e FCTH (2017).

Figura 2 – Bacia do Jacarezinho – Imagem de satélite



Fonte: Autores. Adaptado de Imagem Google Earth e FCTH (2017).

2.2.1 Uso e Ocupação do Solo

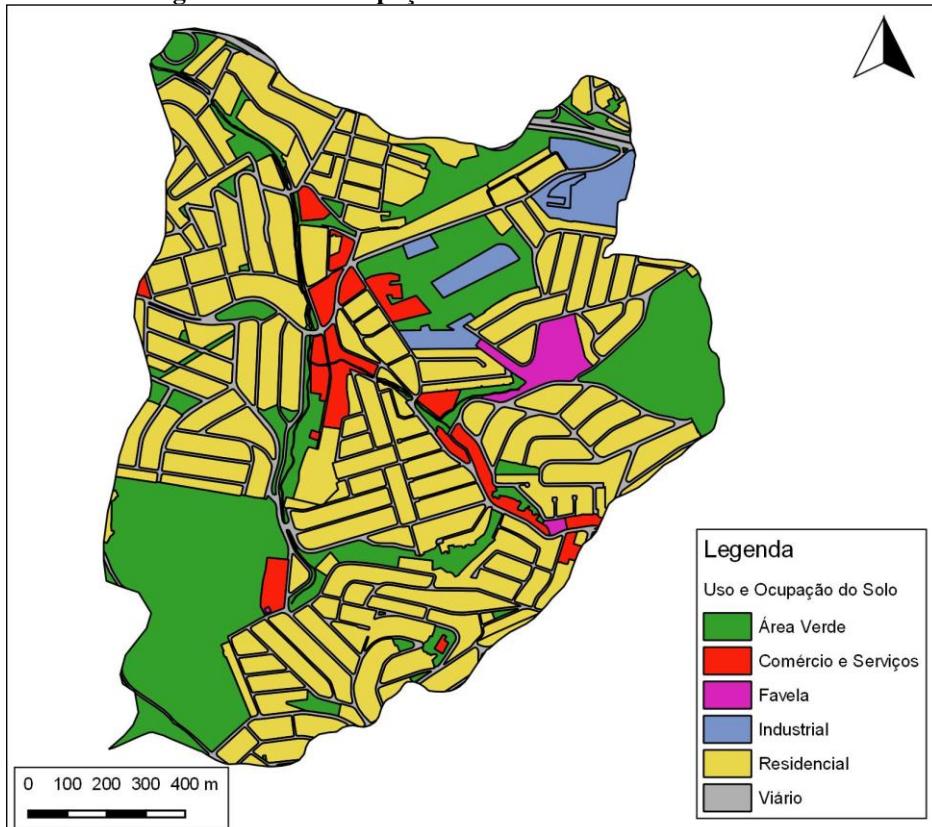
A região é predominantemente urbanizada, sendo aproximadamente 74% de sua área total ocupação urbana. A Tabela 1, a seguir, exibe os tipos de ocupação da área de estudo, já a Figura 3, ilustra a distribuição do uso e ocupação do solo na bacia.

Tabela 1 - Uso e ocupação do solo – Bacia do Jacarezinho

Uso do Solo	Área (km ²)	%
Residencial	1,017	51,4%
Área Verde	0,517	26,3%
Viário	0,264	13,4%
Comércio e Serviços	0,082	4,2%
Industrial	0,064	3,3%
Favela	0,028	1,4%
Total	1,979	100,0%

Fonte: Autores. Adaptado de Prefeitura do Município de São Paulo (2017) e FCTH (2017).

Figura 3 - Uso e ocupação do solo - Bacia do Jacarezinho.



Fonte: Autores. Adaptado de FCTH (2017).

Observa-se que mais da metade da área da bacia é ocupada por zonas residenciais. As favelas ocupam apenas 1,4% da área, estando mais concentradas na região leste da área de estudo. Por se tratar de uma bacia muito urbanizada, como já citado, as vias ocupam boa parte do uso do solo (13,4%), contribuindo para a impermeabilização da bacia. As principais vias que compõem a rede viária são a Av. Eng. Heitor Antônio Eiras Garcia e a Rodovia Raposo Tavares, ambas de tráfego muito intenso de veículos.

Em relação às áreas verdes, que ocupam mais de 26% da área, destacam-se o Parque Municipal Raposo Tavares, localizado a leste da Bacia do Jacarezinho, e uma propriedade particular a sudoeste sem uso definido.

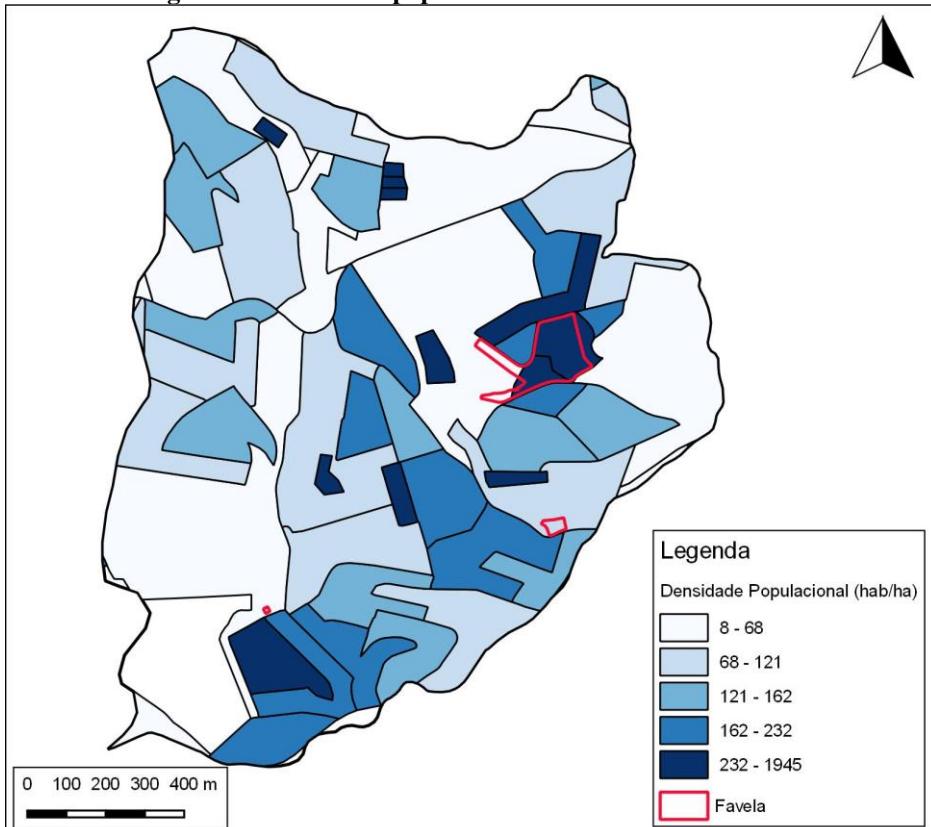
A ocupação por comércio e serviços é concentrada na região central da área de estudo, ao longo da Av. Eng. Heitor Antônio Eiras Garcia e Estrada do Jaguaré.

As indústrias estão concentradas na região nordeste da bacia. Mais próximo à região central está localizada uma indústria alimentícia (Panco) e, nas proximidades da Rod. Raposo Tavares, destaca-se uma metalúrgica (Foseco).

2.2.2 População

A área de estudo possui aproximadamente 22.000 habitantes (Adaptado de Prefeitura Municipal de São Paulo, 2017), com densidade demográfica média aproximada de 270 hab/ha. Através da Figura 4 destaca-se que entre as zonas mais povoadas está a maior favela inserida na área de estudo.

Figura 4 – Densidade populacional - Bacia do Jacarezinho



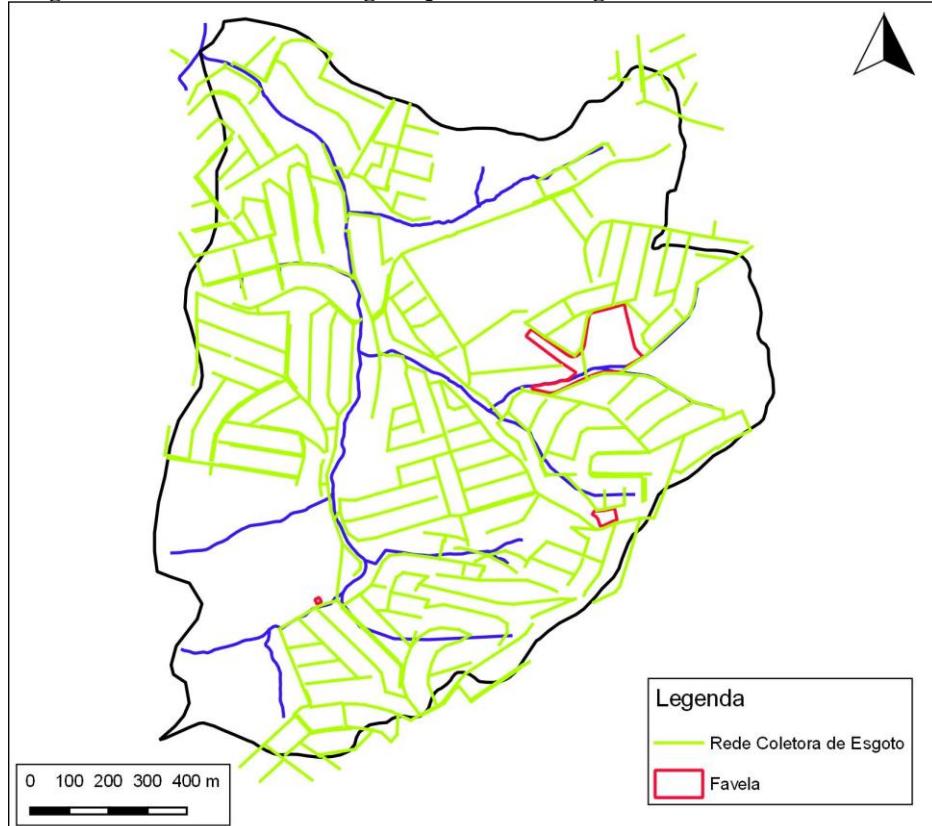
Fonte: Autores. Adaptado de Prefeitura do Município de São Paulo (2017) / FCTH (2017).

2.2.3 Rede Coletora de Esgoto

Conforme representado na Figura 5, é possível notar que praticamente toda a extensão da bacia é contemplada com o serviço de coleta de esgoto sanitário. Observa-se algumas áreas com ausência de rede coletora, entretanto são áreas não habitadas, tal como áreas verdes. O déficit real de coleta é constatado nas favelas.

Apesar de a rede coletora estar bem desenvolvida na área de estudo, diagnostica-se que o real problema é o fato de todo o esgoto coletado ser direcionado para a rede de macrodrenagem. Não se percebe interligação com outras redes para direcionamento à alguma estação de tratamento de esgoto (ETE). A Figura 5 exibe a rede de esgoto preliminar, utilizada como referência para a confirmação em campo, porém os pontos onde realmente se constatou lançamento de esgoto serão detalhados mais adiante.

Figura 5 - Rede coletora de esgoto que atende a região da Bacia do Jacarezinho



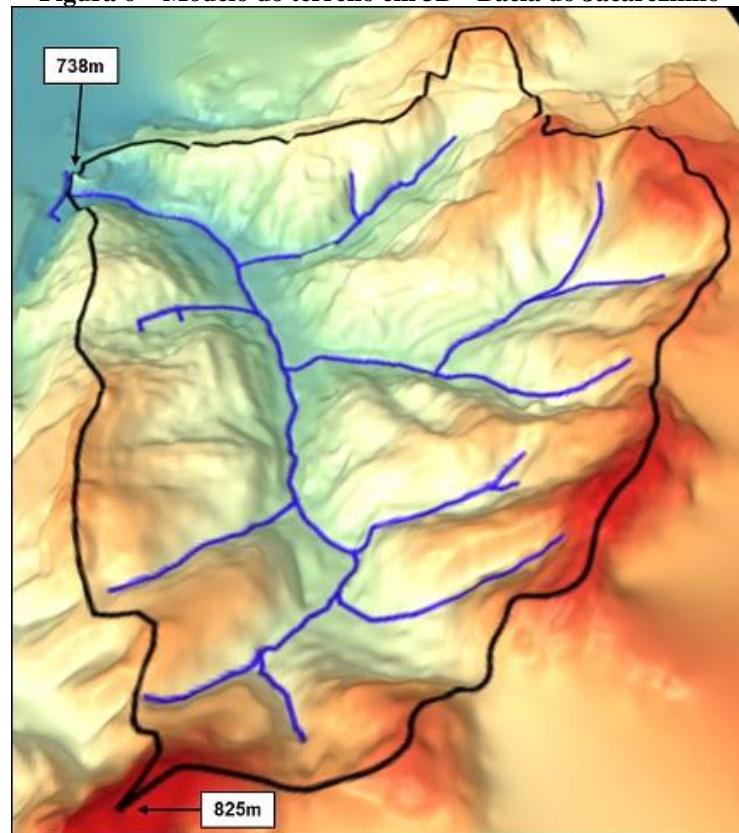
Fonte: Autores. Adaptado de FCTH (2017).

2.2.4 Topografia e Hidrografia

A bacia hidrográfica possui aproximadamente 825 metros de cota máxima e 738 metros de cota mais baixa, resultando em 87 metros de diferença. A Figura 6 ilustra um modelo digital do terreno em 3 dimensões, concebido com o software QGIS, a partir das curvas de nível do terreno. Percebe-se que a Bacia do Jacarezinho abriga diversas nascentes, como se pode observar nas cabeceiras.

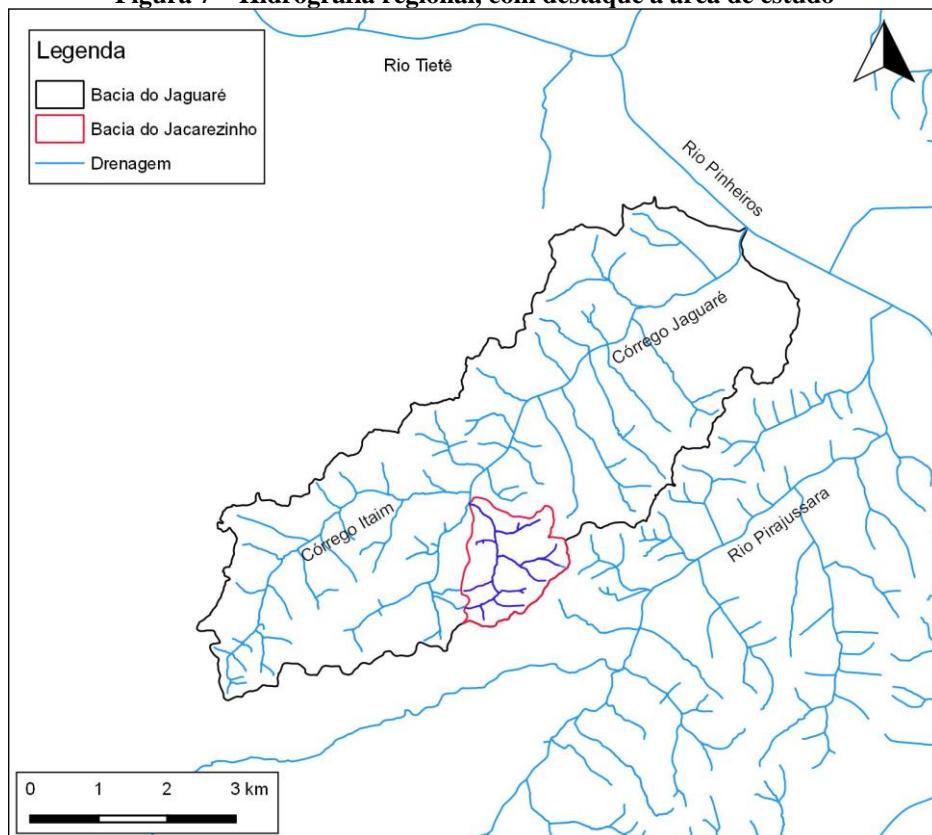
Quanto à hidrografia, conforme já mencionado, a Bacia do Jacarezinho é uma subbacia do Córrego Jaguaré. O Córrego Jaguaré é um importante afluente do Rio Pinheiros, sendo que o exutório de sua bacia está há aproximadamente 3km da confluência do Pinheiros com o Rio Tietê. A Bacia do Jaguaré é vizinha à do Rio Pirajussara, conforme se observa na Figura 7, que exibe a hidrografia regional. Informações mais detalhadas a respeito da hidrografia local serão abordadas mais adiante neste estudo.

Figura 6 – Modelo do terreno em 3D - Bacia do Jacarezinho



Fonte: Autores. Adaptado de FCTH (2017).

Figura 7 – Hidrografia regional, com destaque à área de estudo



Fonte: Autores. Adaptado de Prefeitura Municipal de São Paulo (2017) / FCTH (2017).

2.3 Visitas Técnicas

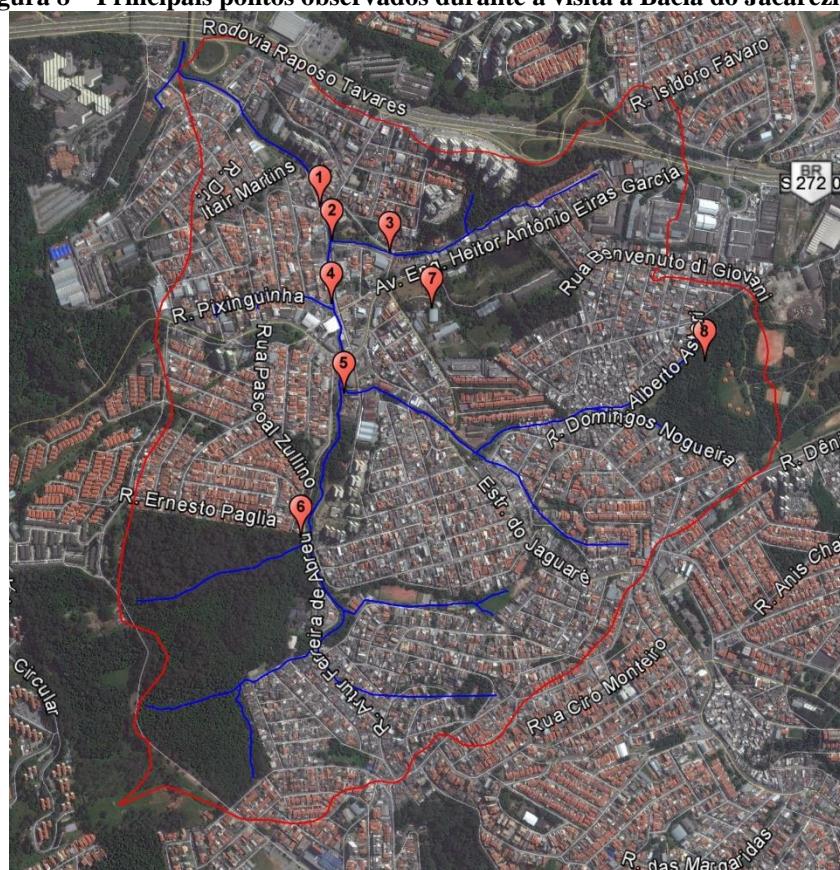
Durante a execução do trabalho foram realizadas 02 visitas técnicas à Bacia do Jacarezinho, uma realizada no dia 03 de junho e outra em 08 de setembro de 2017. Em ambas se percorreram a pé o trajeto ao longo das margens do córrego principal e seus principais afluentes.

2.3.1 Visita de Reconhecimento

A primeira visita à área de estudo teve como objetivo obter melhor entendimento dos dados levantados pelo grupo e informações cedidas pela FCTH. Além da familiarização com a região, foi possível apurar os dados de uso e ocupação do solo e efetuar um diagnóstico inicial da bacia.

Os principais pontos visitados são expostos na Figura 8.

Figura 8 – Principais pontos observados durante a visita à Bacia do Jacarezinho



Fonte: Autores. Adaptado de Imagem Google Earth / Prefeitura do Município de São Paulo (2017) / FCTH (2017).

Notou-se que a maior parte dos cursos d'água encontrava-se a céu aberto e em estado natural. Além disso, o que mais chamou a atenção foi a quantidade de resíduos lançados às margens e no interior dos córregos, principalmente eletrônicos, resíduos domésticos, móveis e resíduos de construção civil. Nas proximidades da Av. Dr. Silvio Margarido, o grupo notou a presença de pelo menos duas propriedades onde eram armazenadas sucatas e ferro velho. As Figuras de 9 a 11 ilustram os cenários descritos.

**Figura 9 – Vista de montante do Córrego Jacarezinho
(Rua Noronha dos Santos).**



Fonte: Autores.

Figura 10 – Resíduos lançados à margem



Fonte: Autores.

Figura 11 – Armazenamento das caçambas próximas ao corpo hídrico.



Fonte: Autores.

Assim como ilustrado na Figura 12, percebe-se que são realizadas limpezas periódicas nas margens dos córregos.

Figura 12 – Confluência de córrego com Jacarezinho



Fonte: Autores.

2.3.2 Visita de Levantamento de Dados Adicionais

A segunda atividade de campo, realizada em setembro de 2017, teve como objetivo principal o levantamento de informações para a estruturação do modelo. Foram mapeados os estados de conservação das margens (se em estado natural, canalizados, com gabião etc.), confirmados os pontos de lançamento de esgoto visíveis e levantadas áreas com potencial para abrigar futuras estruturas para controle de cargas pontuais e difusas. Tais informações levantadas serão expostas futuramente neste relatório técnico, em contexto mais apropriado. Por ora são exibidos os principais aspectos observados, em forma de imagens, nas quais pode-se constatar pontos de lançamento de esgoto e o acúmulo de resíduos às margens dos córregos.

Figura 13 – Exemplar de ponto de lançamento de esgoto



Fonte: Autores.

Figura 14 – Acúmulo de resíduos nas margens do corpo hídrico.



Fonte: Autores.

2.4 Definição do Problema

Atualmente, com o avanço tecnológico de softwares e ferramentas para obtenção e tratamento de dados georreferenciados sobre regiões de interesse em um perímetro urbano, a análise de características e problemas de uso e ocupação do solo, regimes de chuvas, drenagem urbana, rede de esgoto, escoamento superficial etc., foi facilitada, uma vez que há a possibilidade infinita de se realizar simulações diferentes com cálculos de forma precisa e repetidamente. Entretanto, alimentar os modelos com dados e realizar as calibrações necessárias exige esforço, conhecimento e rigor. Se por um lado tais ferramentas permitem a modelagem e simulação de estudos que outrora eram inviáveis, por outro, a introdução de diversas facetas de engenharia da computação, cálculos numéricos e sistemas de georreferenciamento conferem complexidade nos processos até as conclusões finais e elaboração de respostas para as questões diversas que o ambiente urbano levanta aos técnicos e tomadores de decisão que definem os rumos da cidade.

Ao analisarmos as bacias hidrográficas de centros metropolitanos, podemos perceber, ainda que numa primeira análise de dados e imagens de satélite, que os inúmeros córregos e outros eventuais corpos hídricos presentes nessas regiões estão sob constante pressão da expansão urbana, que comprime suas margens e torna seu leito uma via de afastamento de resíduos e efluentes das atividades cotidianas. Sendo assim, o presente trabalho identificou que as bacias hidrográficas urbanizadas enfrentam graves problemas de poluição, assoreamento e queda acentuada da qualidade da água devido à proximidade, muitas vezes beirando as margens, de uso e ocupação diversas da atividade humana, que traz consigo o fenômeno do escoamento superficial e aporte de cargas de lavagem a esses corpos hídricos.

Com este estudo, pretende-se propor e estudar a viabilidade técnico-econômica de soluções já existentes, consagradas e estudadas para outros casos, em uma região de periferia da cidade de São Paulo, onde ainda há carência de infraestruturas e políticas adequadas para o endereçamento dos problemas de drenagem urbana. As infraestruturas e políticas apresentadas são encontradas em ampla bibliografia especializada no assunto, ou mesmo em manuais práticos elaborados por órgãos governamentais que traçam diretrizes de implantação dessas medidas. Intenta-se aqui compilar tais medidas com base na pesquisa minuciosa e criteriosa, e em seguida verificar a aplicabilidade das mesmas, especificamente para a Bacia do Jacarezinho, área de estudo em questão.

Não se objetiva, portanto, a elaboração e proposição de técnicas, estruturas e políticas novas. Há de se deixar claro que essa decisão visa compatibilizar o escopo e limitação prática, econômica e temporal do trabalho. Entretanto, o grupo entende que isso não deve servir de limitante para as análises, permitindo-nos elaborar tal trabalho como uma base completa que possa vir a ser de utilidade para que, se for de interesse, as soluções sejam de fato implantadas.

Sendo assim, o foco do presente trabalho torna-se muito mais o tratamento de dados, estes já existentes em razão dos estudos, levantamentos, pesquisas e coletas realizadas pelo grupo de profissionais da Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica (FCTH). Esse enfoque foi considerado mais proveitoso pelo grupo, já que pode vir a complementar e expandir as análises feitas pelo grupo da FCTH, adicionando maior detalhamento em uma subbacia dentre as outras já analisadas, garantindo maior aproveitamento dos dados obtidos.

2.5 Estruturação do Modelo

Para representar a atual situação da área de estudo, bem como simular cenários distintos, o grupo optou pela utilização do modelo PCSWMM, software privado cuja licença exclusiva para desenvolvimento deste trabalho foi disponibilizada pela *Computational Hydraulics International* (CHI).

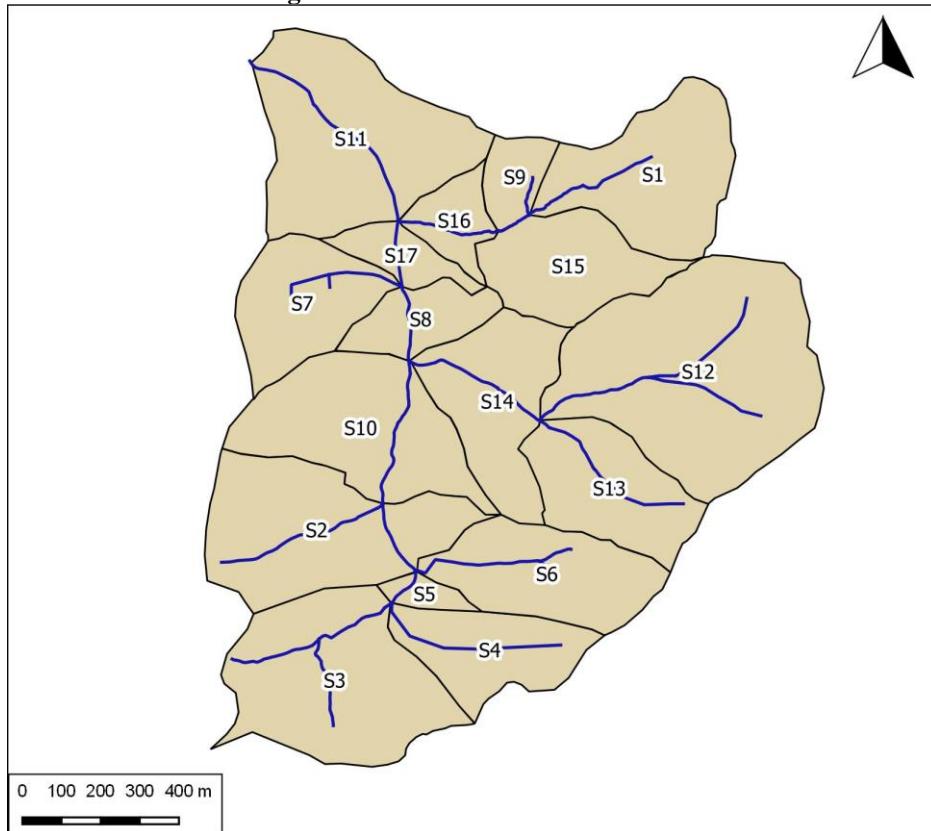
O PCSWMM é um modelo hidráulico e hidrológico, que contém também um módulo para simulação de aspectos de qualidade da água. O fato de o PCSWMM possuir tais especificações subsidiou a escolha dele para modelagem da Bacia do Jacarezinho, já que se intenta neste trabalho a abordagem de aspectos hidráulicos, hidrológicos e de qualidade da água.

2.5.1 Divisão e Caracterização de Subbacias

Para melhor caracterização da área de estudo, bem como obter resultados mais fidedignos na modelagem dos fenômenos hidrológicos da bacia, tais como infiltração e escoamento superficial, procedeu-se com a divisão da área de estudo em subbacias.

Os critérios levados em consideração no fracionamento da Bacia do Jacarezinho foram principalmente a topografia e o uso e ocupação do solo. Os divisores de águas foram traçados procurando agregar zonas homogêneas de uso e ocupação do solo, permitindo um nível de detalhamento razoável para os fins desejados. As 17 subbacias são ilustradas na Figura 15. Os itens seguintes explicitam como foram determinados os principais parâmetros das subbacias.

Figura 15 – Divisão em 17 subbacias.



Fonte: Autores. Adaptado de dados cedidos pela FCTH.

- **Área (A):** após traçada a subbacia, fornecida pelo software PCSWMM (m^2).
- **Perímetro (P):** obtido através de ferramentas SIG (QGIS) (m).
- **Coeficiente de compacidade (k_c):** obtido pela equação (1).

$$k_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (1)$$

- **Largura da bacia (w):** para este parâmetro adotou-se a largura do retângulo equivalente (le), dado pela equação (2).

$$le = \frac{k_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{k_c} \right)^2} \right] \quad (2)$$

Sendo:

A – Área da subbacia (m^2);

P – Perímetro da subbacia (m);

k_c – Coeficiente de compacidade;

le – Largura do retângulo equivalente (m).

- **Tempo de concentração (tc):** é o tempo necessário para a chuva que cai no ponto mais remoto da bacia chegar ao exutório (RBRH, 2015). Para o cálculo do tempo de

concentração, foi utilizada a fórmula de Kirpich, representada pela equação (3), que inicialmente foi criada para áreas rurais, porém se for multiplicada por um fator de 0,4 pode ser aplicada a bacias urbanas e se adequa às condições e características físicas da bacia de estudo (AKAN, 1993).

$$tc = 0,0076L^{0,77}/S^{0,385} \quad (3)$$

Sendo:

tc: tempo de concentração (min);

L: comprimento do talvegue (m);

S: declividade do talvegue (m);

O tempo de concentração, no modelo PCSWMM, não tem aplicação direta, sendo a sensibilidade relativa ao tempo de trânsito da cheia função da largura da bacia. O tempo de concentração foi calculado apenas para melhor entendimento do comportamento da bacia, servindo de guia para elaboração das chuvas de projeto.

- **Declividade:** considerou-se a declividade média do curso principal da subbacia, ou seja, o quociente da diferença entre as cotas de montante e jusante e o comprimento do respectivo curso d'água.
- **Curve Number (CN):** com relação à infiltração e ao escoamento superficial, optou-se por utilizar o método do *Soil Conservation Service* (SCS), um dos métodos mais simples e mais utilizados para estimativa do volume de escoamento superficial a partir de eventos de chuva. O parâmetro CN varia entre 0 e 100, sendo que quanto maior seu valor, maior a impermeabilidade do solo.

Visando a uma melhoria na aplicabilidade aos solos brasileiros, Sartori *et al.* (2005) definiram uma classificação de quatro grupos hidrológicos de solos de acordo com as características hidrológicas:

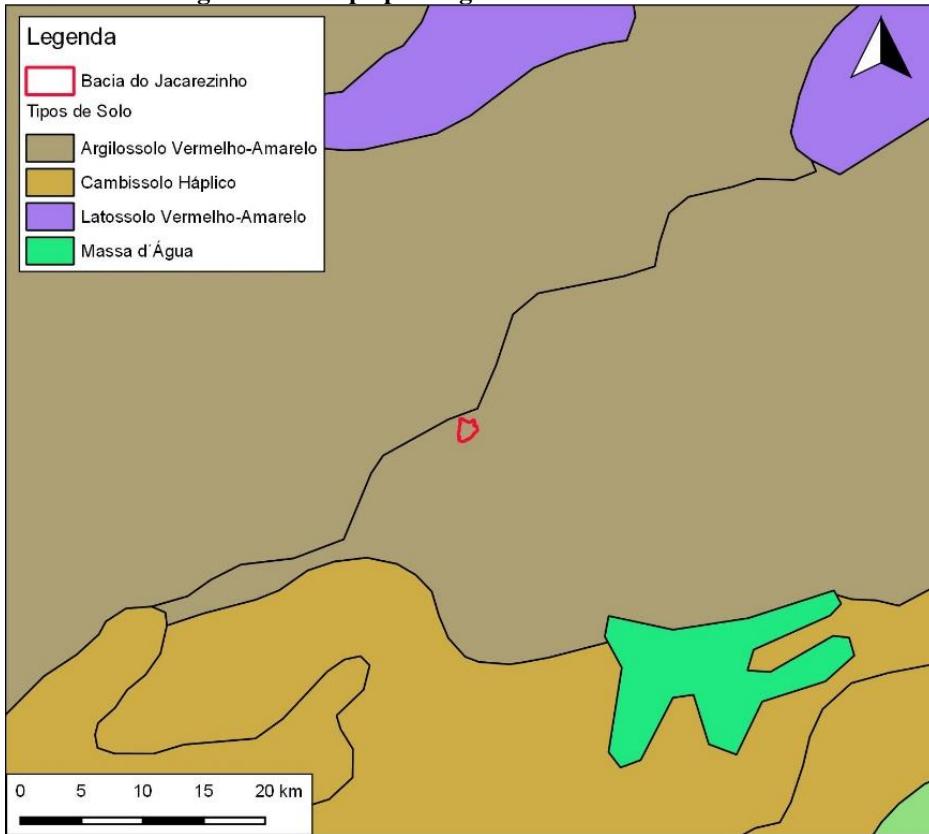
Tabela 2 - Classificação hidrológica de solos para as condições brasileiras.

Grupo Hidrológico A
Características:
**Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão;
**Solos de textura média;
**Solos bem drenados ou excessivamente drenados;
**Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo perfil;
Tipos de Solos:
LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO.
Grupo Hidrológico B
Características:
**Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão;
**Solos porosos;
**Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo perfil;
Tipos de Solos:
LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSO VERMELHO; NEOSOLO QUARTIZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO OU VERMELHO AMARELO.
Grupo Hidrológico C
Características:
**Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão;
**Comumente apresentam mudança textural abrupta;
**A textura nos horizontes superficial e subsuperficial podem ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta, arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa.
Tipos de solos:
ARGISSOLO pouco profundo, ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO E ARGISSOLO AMARELO; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÚMICO, ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSOLO FLÚVICO.
Grupo Hidrológico D
Características:
**Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância à erosão;
**Solos orgânicos
**Solos rasos, associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade;
Tipos de solos:
NEOSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLITOSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTO DE ROCHA; CAMBISSOLOS; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO E ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.

Fonte: Adaptado de Sartori et al. (2005).

Conforme ilustrado na Figura 16, percebe-se que a Bacia do Jacarezinho está totalmente inserida em região caracterizada pela presença de argissolo vermelho-amarelo. Tendo em vista a limitação de maiores informações a respeito da pedologia local, optou-se por classificar toda a região como sendo do Grupo Hidrológico C, conforme a classificação proposta por Sartori et al (2005).

Figura 16 – Mapa pedológico - Bacia do Jacarezinho



Fonte: Autores. Adaptado de FCTH (2017) e IBGE/EMBRAPA (2001).

Após a definição do Grupo Hidrológico, procede-se com a atribuição dos CN's relativos a cada classe de uso e ocupação de solo. Neste trabalho os valores utilizados foram os seguintes, explicitados na Tabela 3:

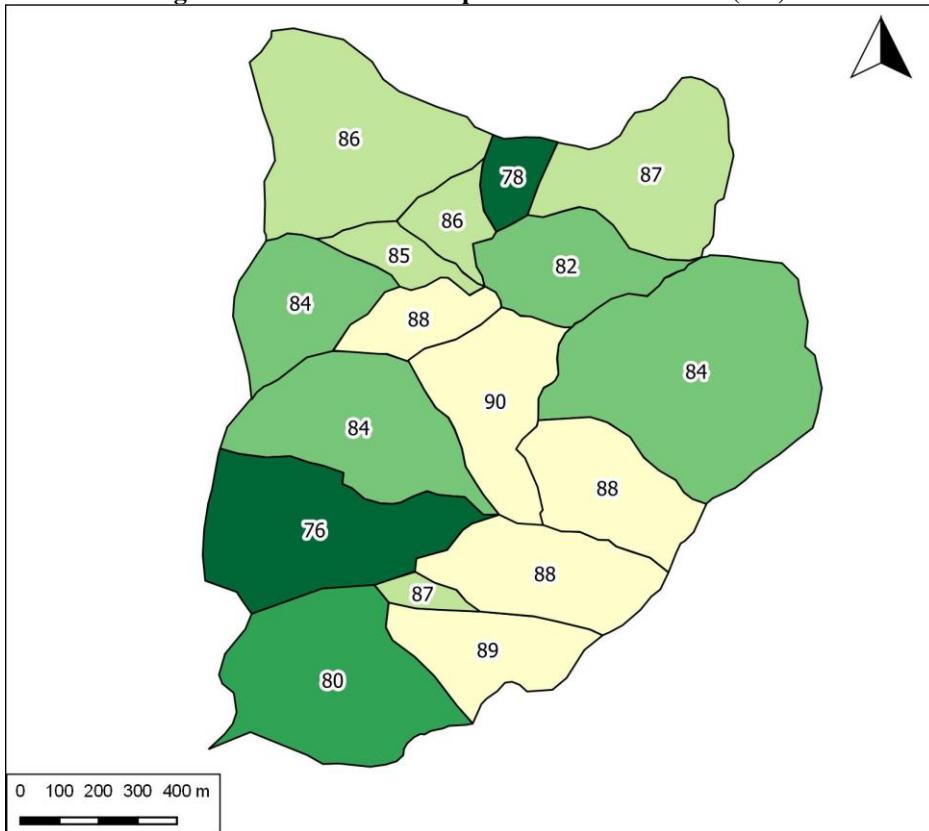
Tabela 3 – Valores de *Curve Number* utilizados para as classes de uso e ocupação do solo.

Classe de Uso e Ocupação do Solo	CN
Vegetação	70
Área Verde Associada a Comércio e Serviços	74
Área Verde Associada ao Viário	74
Praça	79
Comércio e Serviços	94
Favela	90
Industrial	91
Residencial Baixo Padrão	90
Residencial Médio e Alto Padrão	81
Viário	98

Fonte: Soil Conservation Service (1989)

A partir dos CN's atribuídos a cada uma das classes, obteve-se um valor médio ponderado pela área ocupada por cada uma delas nas subbacias. A Figura 17 mostra os valores de CN para cada uma das subbacias.

Figura 17 – Subbacias e respectivos Curve Number (CN).



Fonte: Autores.

- **Depression Storage:** tal parâmetro foi utilizado para ajuste do nível d'água obtido no modelo, em relação ao nível d'água real. O significado físico do parâmetro é a quantidade, em milímetros, que a camada subsuperficial do solo é capaz de abater da chuva.

Um resumo com as principais características das subbacias, anteriormente detalhadas, é exibido na Tabela 4. Para o cálculo do CN foi levado em consideração a composição do uso de cada subbacia e por média ponderada de cada uso, chegou-se aos valores apresentados.

Tabela 4 – Características das subbacias.

Subbacia	Perímetro (m)	Área (m ²)	Largura (m)	Declividade (%)	Curve Number
S1	1655,3	141581,0	243	3,6	87
S2	2003,7	180221,0	237	5,0	76
S3	1938,7	192679,9	281	6,4	80
S4	1411,9	88759,2	165	8,7	89
S5	601,3	14927,2	63	2,4	87
S6	1509,4	119508,6	228	5,7	88
S7	1308,1	98885,7	239	6,1	84
S8	1040,2	51417,1	134	1,3	88
S9	717,4	31550,4	156	14,6	78
S10	1856,0	161083,3	233	1,5	84
S11	1914,5	206113,4	329	0,8	86
S12	2179,4	294777,8	503	4,8	84
S13	1379,9	108196,4	243	8,7	88
S14	1633,2	118001,4	189	1,9	90
S15	1430,5	98590,4	188	12,0	82
S16	929,1	39224,3	112	2,3	86
S17	991,5	33475,1	81	1,2	85

Fonte: Autores.

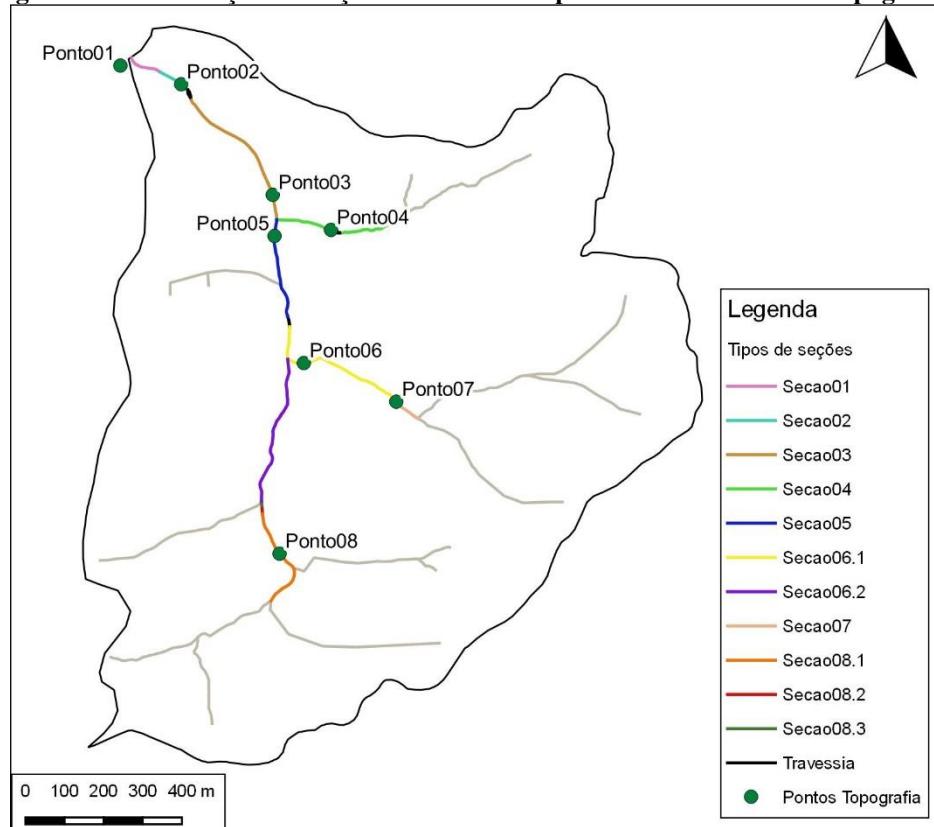
2.5.2 Nós e Condutos

Após a divisão em subbacias, foram inseridos os nós, os quais representam confluências entre os cursos d’água, mudanças nas seções transversais dos condutos, pontos de levantamento topográfico ou lançamento de esgoto. Os condutos são os trechos que interligam os nós, representando os córregos da Bacia do Jacarezinho.

- **Seções transversais:** foram utilizados os dados do levantamento topográfico realizado pela FCTH, juntamente com informações levantadas em campo a respeito de singularidades, travessias, mudanças de seções etc. O trabalho de campo serviu de base também para a determinação do estado de conservação das seções (estado natural, canalizado), bem como os materiais (vegetação, gabião, concreto). As informações do levantamento topográfico foram utilizadas mais especificamente para o canal em si, sendo os trechos das laterais representados pelo Modelo Digital do Terreno (MDT).

A Figura 18 indica a localização das seções utilizadas no modelo, juntamente com os pontos de levantamento topográfico utilizados.

Figura 18 – Localização das seções transversais e pontos de levantamento topográfico

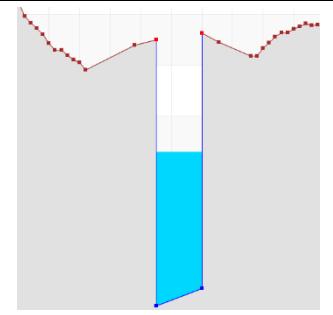
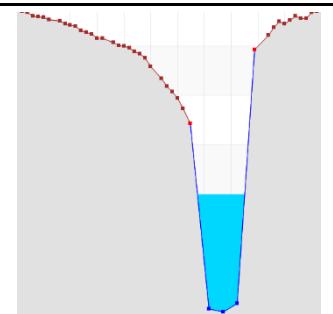
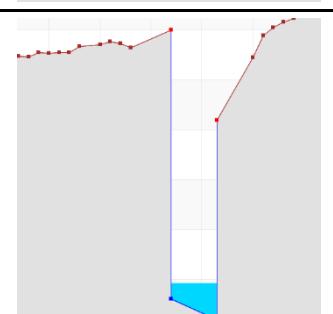
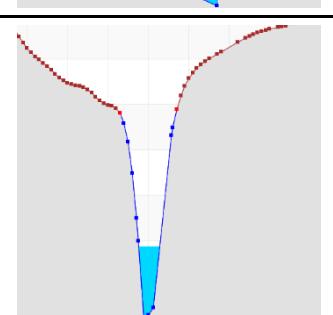
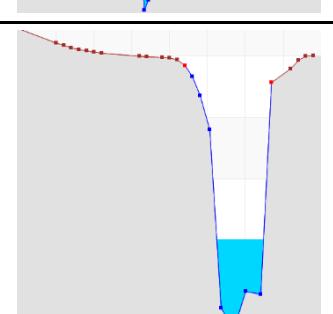


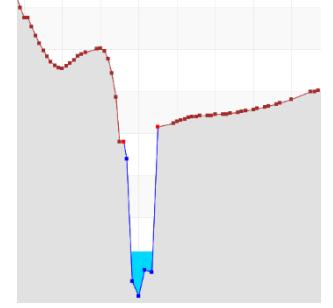
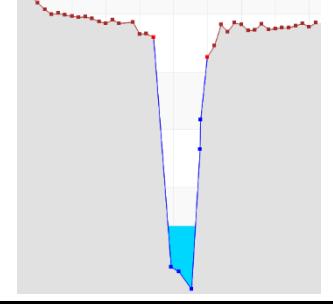
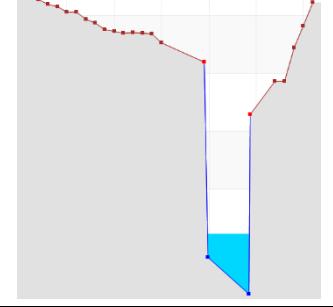
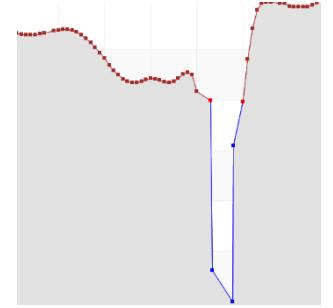
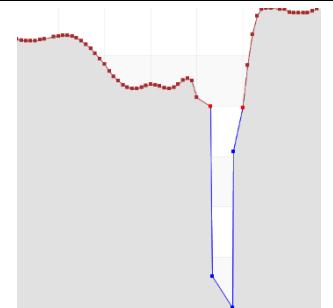
Fonte: Autores. Adaptado de dados cedidos pela FCTH.

Os condutos ilustrados na cor cinza representam trechos subterrâneos ou inacessíveis, ou até mesmo nascentes intermitentes. Esses trechos não são representados no modelo, pois não foi possível levantar informações suficientes dos mesmos, sendo o escoamento superficial das respectivas subbacias lançado diretamente no nó de jusante mais próximo. A Tabela 5 apresenta detalhes a respeito das seções utilizadas, representando os pontos de levantamento topográfico na cor azul, e os pontos originários do MDT em vermelho.

Tabela 5 – Características das seções utilizadas.

Seção	Ponto Topografia	Material / Estado de Conservação	Largura / Altura Aproximada	Formato (Sem escala)
Seção 01	Ponto01	Estado natural / Bom	20m / 3,5m	

Seção	Ponto Topografia	Material / Estado de Conservação	Largura / Altura Aproximada	Formato (Sem escala)
Seção 02	Ponto02	Gabião	7,5m / 2,7m	
Seção 03	Ponto03	Estado natural / Bom	12m / 2,7m	
Seção 04	Ponto04	Estado natural / Bom	4,5m / 2,7m	
Seção 05	Ponto05	Estado natural / Bom	10m / 2,5m	
Seção 06.1	Ponto06	Estado natural / Ruim	10m / 2,1m	

Seção	Ponto Topografia	Material / Estado de Conservação	Largura / Altura Aproximada	Formato (Sem escala)
Seção 06.2	Ponto06	Estado natural / Ruim	10m / 2,1m	
Seção 07	Ponto07	Natural / Ruim	8m / 2,2m	
Seção 08.1	Ponto08	Natural / Ruim	5m / 1,6m	
Seção 08.2	Ponto08	Concreto	5m / 1,6m	
Seção 08.3	Ponto08	Gabião	5m / 1,6m	

Fonte: Autores. Adaptado de FCTH (2017).

Observa-se que, a partir do ponto de topografia “Ponto06”, originaram-se duas diferentes seções transversais, dado que foi constatado que os trechos possuem calhas iguais, porém com terrenos

adjacentes completamente diferentes. Fato semelhante ao “Ponto08”, que originou seções de mesma calha, porém com variação de material e do terreno adjacente.

As Figuras 19 a 21 foram obtidas na segunda visita de campo e exemplificam algumas das seções anteriormente explicitadas.

Figura 19 – Transição entre a Seção 02 (retangular com gabião) e a Seção 01 (trapezoidal, em estado natural), ao fundo.



Fonte: Autores.

Figura 20 – Vista da Seção 06.1.



Fonte: Autores.

Além das referidas seções, foram representadas no modelo seções fechadas retangulares e circulares (conforme verificado em campo) nos pontos em que os córregos passam por debaixo das vias. Tais trechos são os denominados “Travessia” na Figura 18.

Figura 21 – Exemplar de travessia, na transição da Seção 03 para a Seção 02.



Fonte: Autores.

- **Rugosidade de Manning:** a equação (4), é a Equação de Manning e é válida para os escoamentos permanentes, uniformes e turbulentos rugosos, com grande número de Reynolds (PORTO, 2006). Nestas condições, o coeficiente n de Manning, permanece constante para uma rugosidade dada.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (4)$$

Sendo:

V - Velocidade do fluido (m/s);

S - Inclinação do leito (m/m);

R - Raio hidráulico (m);

n - Coeficiente de rugosidade de Manning.

Os valores do coeficiente de Manning são amplamente encontrados em bibliografia, tais como os exibidos na Tabela 6.

Tabela 6 – Valores típicos do coeficiente de Manning.

Natureza das paredes	Condições			
	Muito boa	Boa	Regular	Má
Alvenaria de pedra argamassada	0,017	0,020	0,025	0,030
Alvenaria de pedra aparelhada	0,013	0,014	0,015	0,017
Alvenaria de pedra seca	0,025	0,033	0,033	0,035
Alvenaria de tijolos	0,012	0,013	0,015*	0,017
Calhas metálicas lisas (semicirculares)	0,011	0,012	0,013	0,015
Canais abertos em rocha (irregular)	0,035	0,040	0,045	-
Canais c/ fundo em terra e talude c/ pedras	0,028	0,030	0,033	0,035
Canais c/ leito pedregoso e talude vegetado	0,025	0,030	0,035	0,040
Canais com revestimento de concreto	0,012	0,014*	0,016	0,018
Canais de terra (retilíneos e uniformes)	0,017	0,020	0,023	0,025
Canais dragados	0,025	0,028	0,030	0,033
Condutos de barro (drenagem)	0,011	0,012*	0,014*	0,017
Condutos de barro vitrificado (esgoto)	0,011	0,013*	0,015	0,017
Condutos de prancha de madeira aplainada	0,010	0,012*	0,013	0,014
Gabião	0,022	0,030	0,035	-
Superfícies de argamassa de cimento	0,011	0,012	0,013*	0,015
Superfícies de cimento alisado	0,010	0,011	0,012	0,013
Tubo de ferro fundido revestido c/ alcatrão	0,011	0,012*	0,013*	-
Tubo de ferro fundido sem revestimento	0,012	0,013	0,014	0,015
Tubos de bronze ou de vidro	0,009	0,010	0,011	0,013
Tubos de concreto	0,012	0,013	0,015	0,016
Tubos de ferro galvanizado	0,013	0,014	0,015	0,017
Córregos e rios Limpos, retilíneos e uniformes	0,025	0,028	0,030	0,033
Igual anterior porém c/ pedras e vegetação	0,030	0,033	0,035	0,040
Com meandros, bancos e poços, limpos	0,035	0,040	0,045	0,050
Margens espriadas, pouca vegetação	0,050	0,060	0,070	0,080
Margens espriadas, muita vegetação	0,075	0,100	0,125	0,150

Fonte: Porto (2006).

A partir das visitas de campo à bacia do Jacarezinho e análise do estado de conservação e material em que se encontram os leitos dos corpos hídricos, juntamente com a consulta à bibliografia supracitada, foram definidos os seguintes valores para o *n* de Manning, apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 – Coeficientes *n* de Manning utilizados na estruturação do modelo.

Material / Estado de Conservação	<i>n</i> de Manning
Estado natural / Bom	0,033
Estado natural / Ruim	0,040
Gabião	0,035
Concreto	0,018

Fonte: Autores.

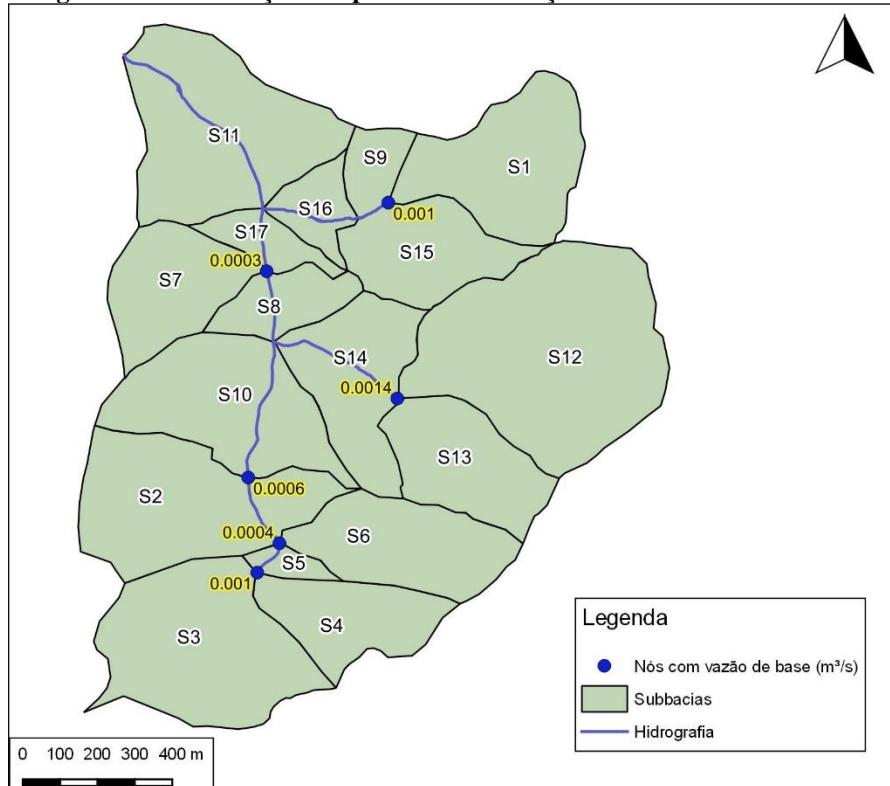
- **Cota dos nós:** foram fixadas as cotas mínimas dos pontos de topografia (Ponto01 a Ponto08). As cotas dos demais pontos foram obtidas por interpolação linear, por meio de ferramenta do próprio software utilizado.
- **Vazão de Base:** a vazão de base foi estimada a partir das informações de regionalização hidrológica disponíveis na base de dados do Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos (SÃO PAULO, 2017). Na base de dados referida, ao inserir a área da bacia hidrográfica e as coordenadas UTM, obtém-se como resultados a vazão média de longo termo, curva de permanência, entre outros, sendo que os resultados completos são exibidos nos anexos deste relatório. Para este estudo adotou-se como vazão de base a Q₉₅, ou seja, a vazão que em 95% do tempo é superada, igual a 0,007 m³/s para a bacia de aproximadamente 2 km². Tem-se, assim, uma vazão de base específica de 0,0035 m³/s.km².

Tabela 8 – Cálculo da vazão de base.

Nó	Bacias de contribuição	Área total de contribuição (km ²)	Vazão específica (m ³ /s.km ²)	Vazão total (m ³ /s)
Montante01	S1, S9 e S15	0.27		0.0010
Montante05	S7	0.10		0.0003
Montante02	S12 e S13	0.40		0.0014
TrocaSecao12	S2	0.18	0.0035	0.0006
Montante04	S6	0.12		0.0004
Montante03	S3 e S4	0.28		0.0010

Fonte: Autores.

Figura 22 - Localização dos pontos com inserção de vazão de base natural.



Fonte: Autores.

- **Vazão de Esgoto:** conforme já mencionado, o grupo se baseou na rede de esgoto da região, fornecida pela FCTH, complementada por constatação em campo dos pontos onde efetivamente haja lançamento de esgoto doméstico, seja legalizado ou não. Segundo a Prefeitura do Município de São Paulo (2010), mesmo em áreas com alto índice de cobertura de rede de coleta, a existência de lançamentos clandestinos e a descontinuidade pontual da rede explicam o aporte de esgoto aos córregos.

Na Bacia do Jacarezinho foram constatados 08 pontos de lançamento de esgoto. Constatou-se também que na região de favela os lançamentos de esgoto das residências diretamente no córrego eram uma unanimidade, conforme exemplificado pela Figura 23.

Figura 23 – Ocupações irregulares com ligação de esgoto diretamente no córrego.

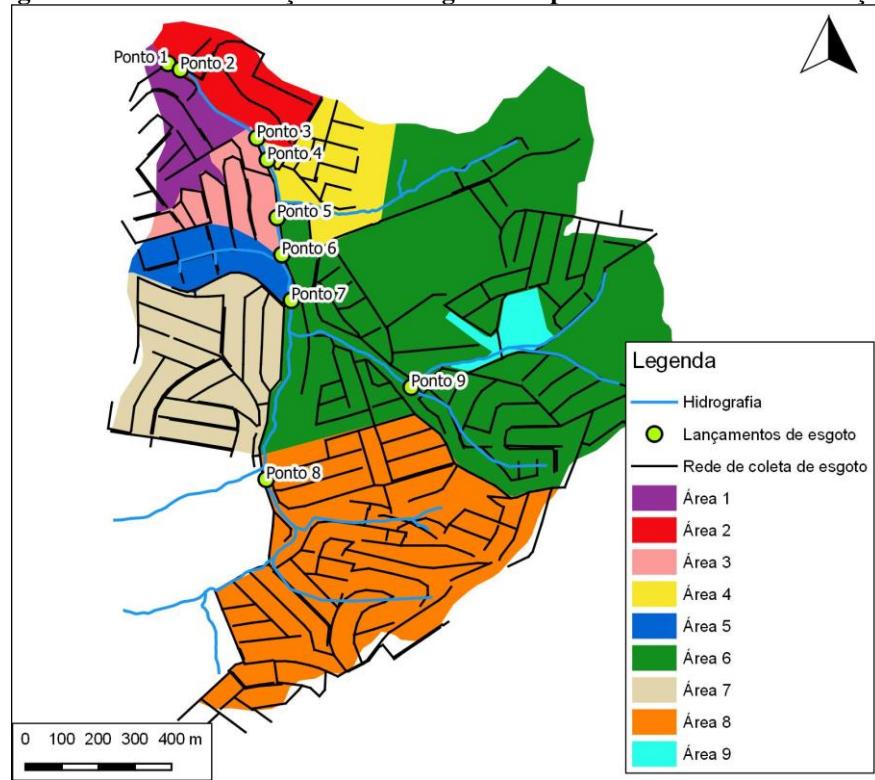


Fonte: Autores.

Dessa maneira, optou-se por adotar 09 pontos de lançamento de esgoto, sendo toda a contribuição da região de favela concentrada em um único ponto.

A metodologia adotada para cálculo da vazão de esgoto iniciou-se com a delimitação de áreas de contribuição para o lançamento nos pontos levantados. Conforme indicado na Figura 24, a Área 1 corresponde à contribuição ao Ponto 1 e assim sucessivamente. Após a delimitação das áreas de contribuição, foi realizado um cruzamento com os dados de densidade demográfica, através de ferramenta GIS, obtendo-se, então, a população de cada área de contribuição.

Figura 24 – Pontos de lançamento de esgoto e respectivas áreas de contribuição.



Fonte: Autores. Adaptado de FCTH (2017).

Adotou-se como consumo médio de água 150 L/hab.dia (MACINTYRE, 1982) e coeficiente de retorno água/esgoto 0,8 (SABESP, 2006), sendo possível estimar uma vazão média de esgoto lançada em cada ponto, exibida na Tabela 9.

Tabela 9 – Cálculo de vazão de esgoto.

Nº Área	Ponto de lançamento	População (hab)	Consumo de água (L/hab.dia)	Coeficiente de retorno água/esgoto	Vazão de esgoto (L/dia)	Vazão de esgoto (m ³ /s)
1	1	727			87240	0.0010
2	2	998			119760	0.0014
3	3	516			61920	0.0007
4	4	1347			161640	0.0019
5	5	329	150	0.8	39480	0.0005
6	6	7837			940440	0.0109
7	7	1818			218160	0.0025
8	8	6715			805800	0.0093
9	9	1247			149640	0.0017

Fonte: Autores.

2.5.3 Chuvas de Projeto

As chuvas de projeto foram determinadas com o objetivo de simulação de aspectos exclusivamente quantitativos da rede atual e da rede com as intervenções a serem propostas. Os aspectos de qualidade da água serão simulados apenas com base em eventos reais de precipitação.

A equação (5), representa a equação de precipitações intensas para a cidade de São Paulo (DAEE; CTH, 2016), e com ela foi possível calcular a intensidade da chuva.

$$i_{t,T} = 32,77 (t + 20)^{-0,8780} + 16,10 (t + 30)^{-0,9306} [-0,4692 - 0,8474 \ln \ln (T/T-1)] \quad (5)$$

Sendo:

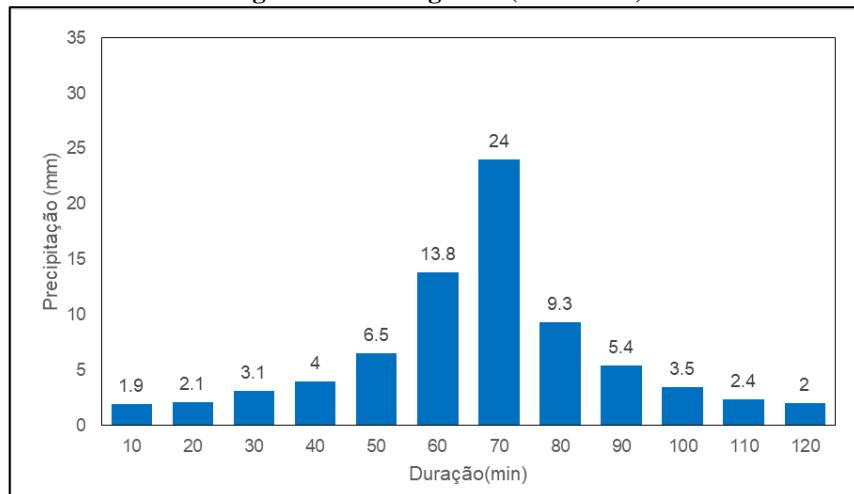
i - intensidade da chuva (mm/min);

t - duração da chuva (min);

T - período de retorno (anos).

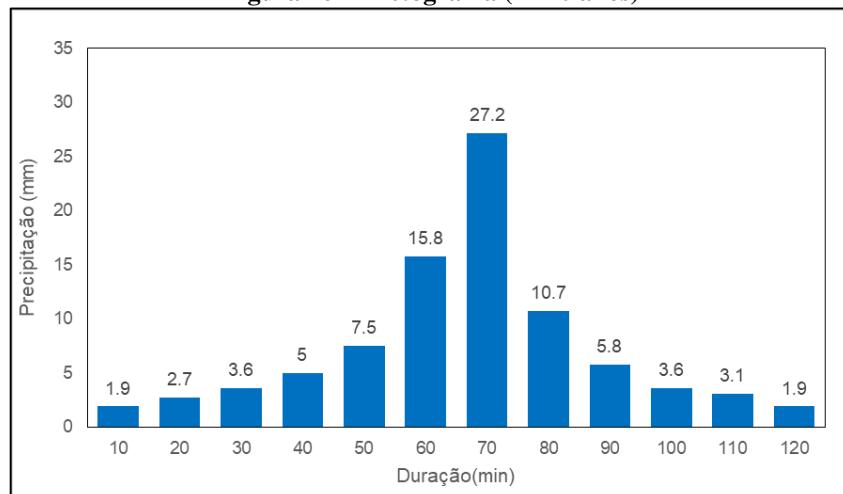
A partir dos resultados obtidos na equação (5) foram calculadas as chuvas de projeto, para diferentes períodos de retorno (10, 20, 50 e 100 anos), para que assim pudéssemos converte-las em escoamento superficial. Para o cálculo das chuvas de projeto foi utilizado o método dos Blocos Alternados, para distribuir a chuva no tempo. A distribuição temporal dos volumes precipitados condicionará o volume infiltrado e a forma do hidrograma de escoamento superficial direto originado pela chuva excedente (DAEE; CTH, 2016). As figuras a seguir ilustram os hietogramas referentes às chuvas de projeto.

Figura 25 – Hietograma (T=10 anos)

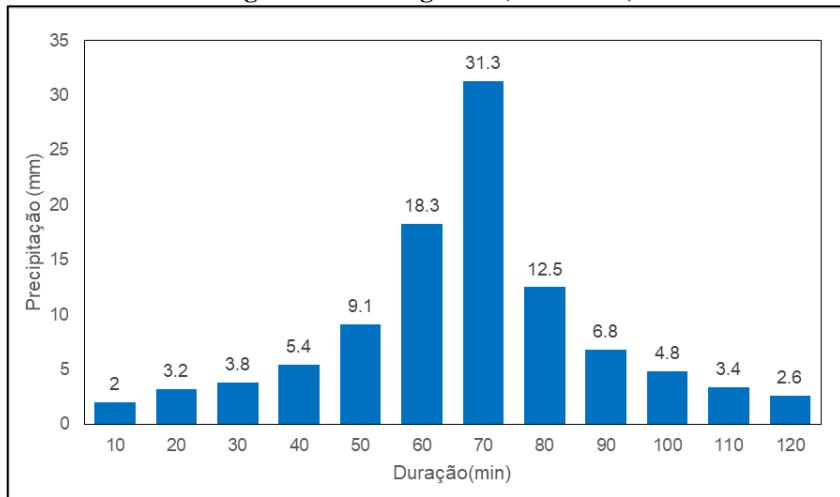


Fonte: Autores.

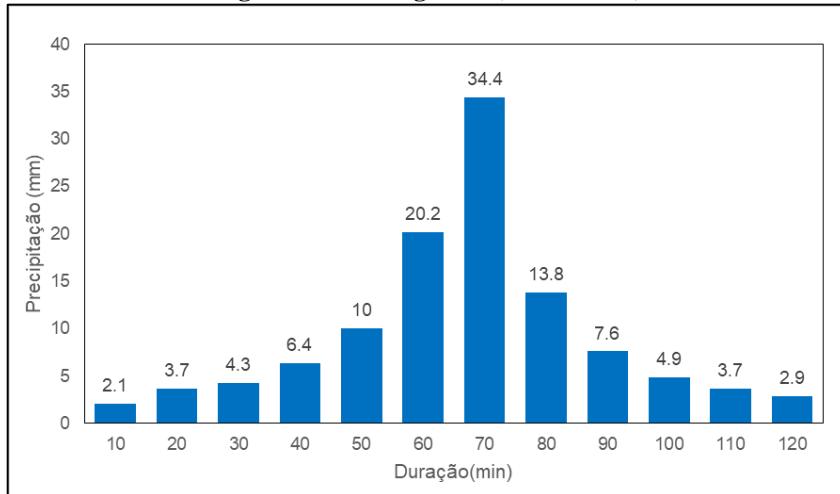
Figura 26 – Hietograma (T=20 anos)



Fonte: Autores.

Figura 27 – Hietograma (T=50 anos)

Fonte: Autores.

Figura 28 – Hietograma (T=100 anos)

Fonte: Autores.

2.5.4 Aspectos de Qualidade da Água

Para simulação da qualidade da água dos córregos da Bacia do Jacarezinho, optou-se por adotar os seguintes parâmetros de controle: Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Sólidos Suspensos Totais (SST) e Fósforo Total (P Total). Além de serem parâmetros de interesse para esgotos e cargas difusas, foram monitorados pela FCTH por meio de amostradores de nível ascendente e descendente. A seguir são expostas as principais características dos parâmetros de controle de qualidade da água adotados.

Demanda Bioquímica de Oxigênio: a demanda bioquímica de oxigênio pode ser entendida como a quantidade de oxigênio molecular necessária à estabilização da matéria orgânica carbonada decomposta aerobiamente por via biológica. É parâmetro fundamental para o controle da poluição das águas por matéria orgânica. Nas águas naturais a DBO representa a demanda potencial de oxigênio dissolvido que poderá ocorrer devido à estabilização dos compostos orgânicos biodegradáveis, o que poderá trazer os níveis de oxigênio nas águas abaixo dos exigidos pelos peixes, levando-os à morte. Nas classes que correspondem às águas menos poluídas, exigem-se baixos valores máximos de DBO e elevados limites mínimos de oxigênio dissolvido (PIVELI; KATO, 2006).

Sólidos Suspensos Totais: Nos estudos de controle de poluição das águas naturais e principalmente nos estudos de caracterização de esgotos sanitários e de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho e com relação à natureza. Os Sólidos Suspensos têm efeito direto sobre o grau de turbidez da água, ou seja, um aumento da concentração de SST leva ao aumento da turbidez, provocando a formação de bancos de lodos nos rios e diminuição da temperatura das águas (PIVELI; KATO, 2006).

Fósforo Total: O fósforo aparece em águas naturais devido principalmente às descargas de esgotos sanitários. O fósforo pode se apresentar nas águas sob três formas diferentes. Os fosfatos orgânicos são a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas. Os ortofosfatos, por outro lado, são representados pelos radicais que se combinam com cátions formando sais inorgânicos nas águas. Os polifosfatos ou fosfatos condensados são polímeros de ortofosfatos. Por ser nutriente para processos biológicos, o excesso de fósforo em esgotos sanitários e efluentes industriais, por outro lado, conduz a processos de eutrofização das águas naturais (PIVELI; KATO, 2006).

É importante ressaltar que tais parâmetros foram utilizados apenas como indicadores de qualidade da água. Sabe-se que nos eventos de enchente, que expõem populações localizadas nas áreas mais vulneráveis ao contato direto com a água do córrego, não seriam os mesmos três parâmetros escolhidos como indicadores de qualidade que representariam o risco à saúde humana. Uma avaliação mais adequada levaria em conta a presença de microorganismos, como por exemplo *Escherichia coli*.

No que se refere às cargas pontuais, o módulo de qualidade da água do PCSWMM trabalha com concentrações médias de tempo seco. Os valores adotados para cada parâmetro foram baseados nas informações das amostragens da FCTH e são exibidos na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores de concentração média de tempo seco.

Parâmetro	Concentração média de tempo seco (mg/L)
DBO _{5,20}	109
Sólidos Suspensos Totais	96
Fósforo Total	3,5

Fonte: FCTH (2017).

Para quantificação da carga difusa aportada aos córregos, o modelo utiliza as denominadas curvas de *surface buildup* e *surface washoff*, sendo a primeira representativa do fenômeno de acúmulo de poluentes nas superfícies e a segunda referente ao arraste dos poluentes pelo escoamento superficial nos eventos de precipitação. Foram utilizadas equações do tipo exponencial para ambas.

- **Surface Buildup**

$$b = B_{max}(1 - e^{-K_B t}) \quad (6)$$

Sendo:

 b – Acúmulo de poluente no tempo t (mg/ha); B_{max} – Máximo acúmulo possível (mg/ha); K_B – Taxa de acúmulo (dia⁻¹); t – tempo (dias);

- **Surface Washoff**

$$w = K_w q^{N_w} m_b \quad (7)$$

Sendo:

 w – *Washoff* (mg/h); K_w – Coeficiente (mm⁻¹); q – Taxa de escoamento superficial (mm/h); N_w – Coeficiente (adimensional); m_b – Massa de poluente (mg);

Para o ajuste da equação de *buildup*, basta inserir no modelo os parâmetros B_{max} e K_B , já para *washoff*, é preciso indicar os coeficientes K_w e N_w , sendo o restante automaticamente calculado pelo próprio modelo, a partir das demais informações da bacia e das precipitações.

Para cada subbacia são inseridas as porcentagens de cada uso do solo (área verde, comercial, favela, industrial, residencial e viário) e, para cada um deles, adota-se valores para os 04 parâmetros de ajuste das curvas de *buildup* e *washoff*. São parâmetros que não são usualmente encontrados em bibliografia e são utilizados para que o modelo represente ao máximo a realidade. Inicialmente procedeu-se com a adoção de valores semelhantes aos utilizados no estudo do Projeto Jaguaré (FCTH, 2017), mas tais valores tiveram de ser alterados para que os resultados tivessem maior representatividade da Bacia do Jacarezinho. Os valores adotados são expostos nas Tabelas 11 a 13.

Tabela 11 – Parâmetros de qualidade da água - DBO

Uso do Solo	Bmax	Kb	Kw	Nw
Área verde	35	0,07	2	7
Comercial	30	0,07	2	7
Favela	25	0,07	2	7
Industrial	15	0,07	2	7
Residencial	30	0,07	2	7
Viário	30	0,07	2	7

Tabela 12 – Parâmetros de qualidade da água - SST

Uso do Solo	Bmax	Kb	Kw	Nw
Área verde	340	0,14	20	9
Comercial	220	0,14	20	9
Favela	290	0,14	20	9
Industrial	210	0,14	20	9
Residencial	190	0,14	20	9
Viário	100	0,14	20	9

Tabela 13 – Parâmetros de qualidade da água – P Total

Uso do Solo	Bmax	Kb	Kw	Nw
Área verde	0,35	0,045	0,01	9
Comercial	0,20	0,045	0,01	9
Favela	0,50	0,045	0,01	9
Industrial	0,30	0,045	0,01	9
Residencial	0,50	0,045	0,01	9
Viário	0,30	0,045	0,01	9

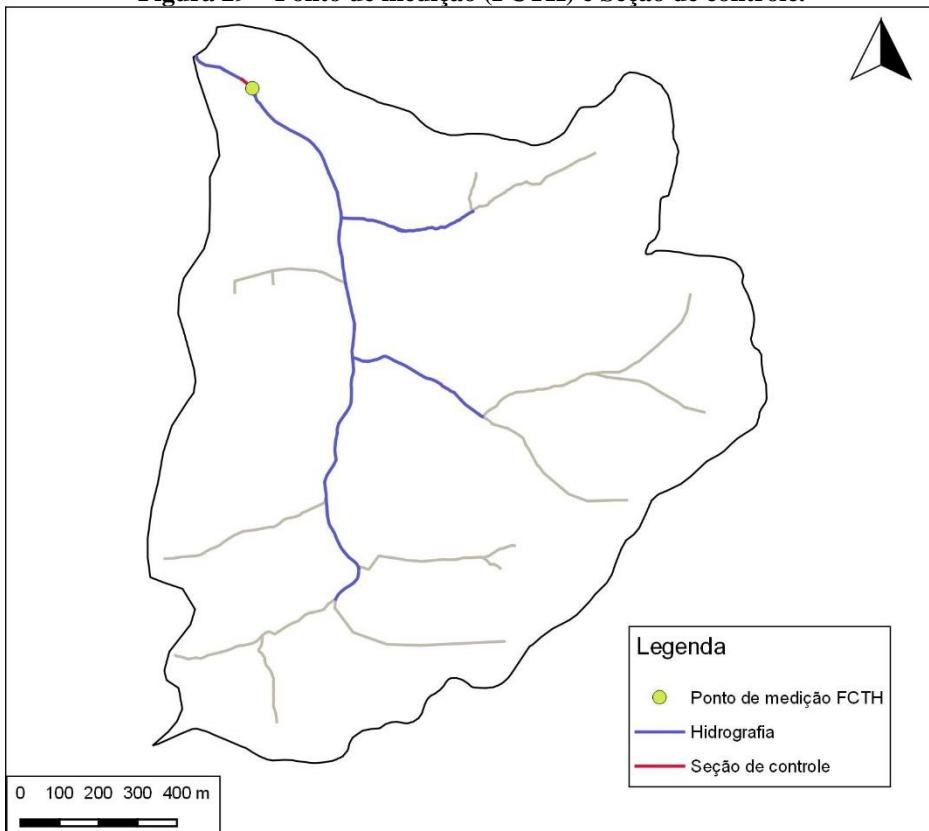
2.5.5 Remanso Hidráulico

A simulação do remanso hidráulico que afeta o Córrego do Jacarezinho nas proximidades da confluência com o Córrego Jaguaré, foi realizada com uma configuração específica no ponto do exutório. Em tal ponto, inseriu-se uma condição de contorno, referente à série temporal de cotas do nível d’água do Córrego Jaguaré nas proximidades do referido ponto.

2.6 Verificação do Modelo

Tanto para os aspectos quantitativos, quanto para os aspectos qualitativo, foram utilizados os por dados cedidos pela FCTH e coletados em uma seção específica, a qual foi utilizada como seção de controle. Foram disponibilizadas, pela FCTH, as séries de intensidade pluviométrica coletada (janeiro e fevereiro de 2017) por radar de nível d’água no Córrego Jacarezinho e os resultados das análises de parâmetros de qualidade referentes a amostras coletadas em eventos de cheia. Cabe ressaltar que os dados de chuva de radar foram tratados e ajustados pela FCTH, comparando os resultados obtidos com dados de pluviógrafos em superfície.

Figura 29 – Ponto de medição (FCTH) e Seção de controle.

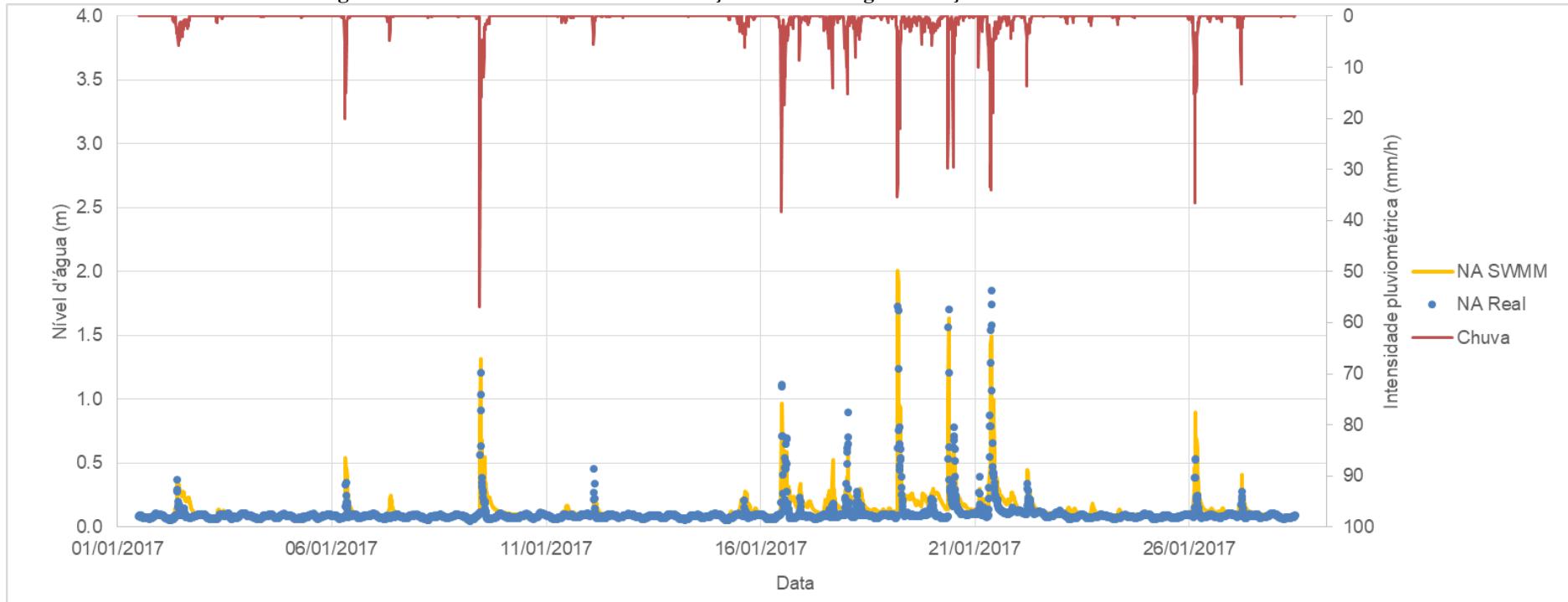


Fonte: Autores.

- **Aspectos Quantitativos:** O principal parâmetro utilizado no ajuste do nível d'água na seção de controle foi o *Depression Storage*, que indica a quantidade, em mm, de chuva que a camada subsuperficial do solo consegue armazenar.

Os resultados já ajustados, após realização de diversos testes com diferentes valores para tal parâmetro, são exibidos no gráfico da Figura 30.

Figura 30 – Resultados obtidos na calibração do nível d'água na seção de controle.



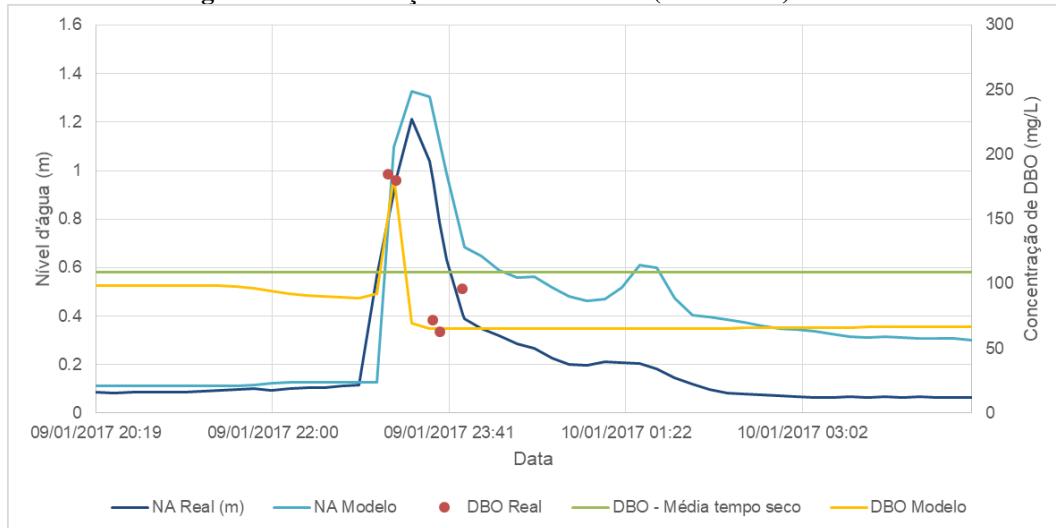
Fonte: Autores.

Observa-se aderência dos resultados do modelo quando comparados ao nível d'água real, aferido *in situ*. Em alguns eventos de precipitação o nível d'água do modelo ultrapassa o nível real e em outros fica um pouco abaixo.

- **Aspectos Qualitativos:** para cada um dos parâmetros de qualidade, com os dados disponíveis, foi possível verificar a aderência do modelo à realidade para apenas um evento de precipitação. Sabe-se que há limitações quanto à metodologia adotada, porém o modelo demonstrou resultados considerados dentro dos padrões esperados.

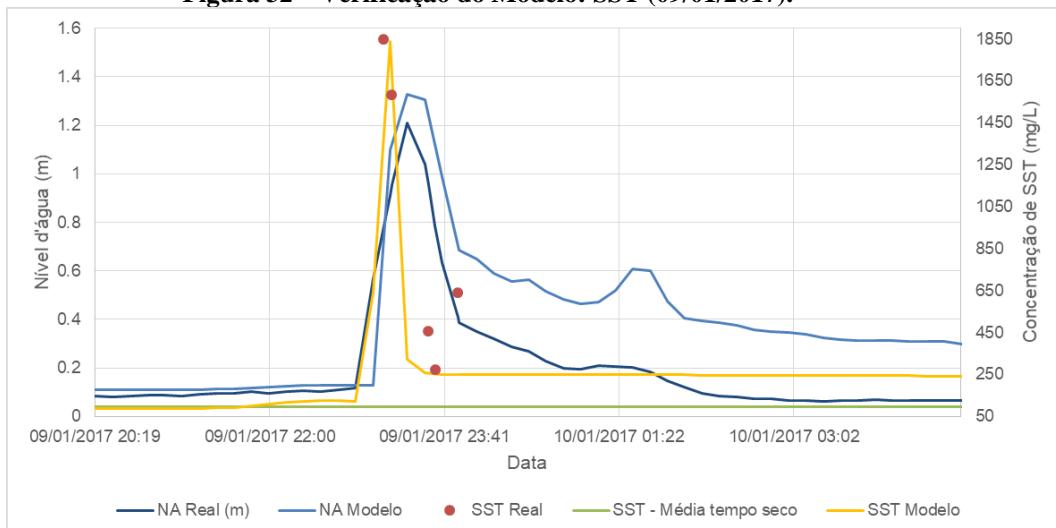
As figuras a seguir exibem os resultados obtidos na verificação do modelo, na questão qualitativa, sendo que os pontos representam as concentrações obtidas das análises dos parâmetros das amostras coletadas pela FCTH.

Figura 31 – Verificação do Modelo: DBO (09/01/2017).



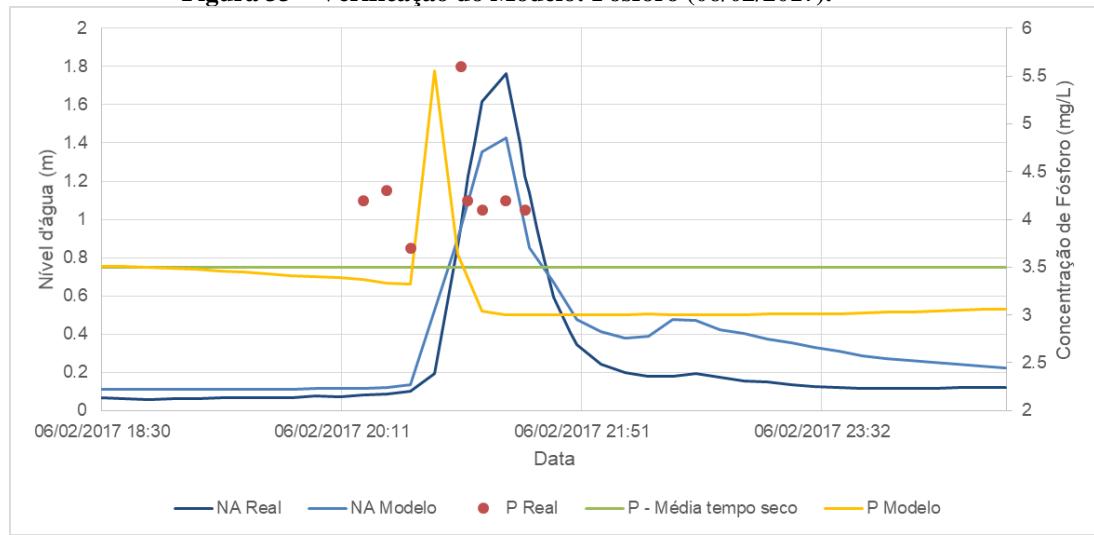
Fonte: Autores.

Figura 32 – Verificação do Modelo: SST (09/01/2017).



Fonte: Autores.

Figura 33 – Verificação do Modelo: Fósforo (06/02/2017).



Fonte: Autores.

3 PROPOSIÇÃO DE SOLUÇÕES

As soluções para os problemas de inundação e qualidade da água na Bacia do Jacarezinho serão propostas por meio de cenários, que combinarão *BMP's* e medidas técnicas e paisagísticas para contenção de cheias e tratamento de poluentes para melhorar os índices de qualidade da água na região, trazendo benefícios à qualidade de vida da população.

Todas as estruturas propostas foram projetadas para um tempo de retorno de 50 anos. Sabe-se que a Bacia do Jacarezinho é apenas um exemplar da problemática de cheias e péssima qualidade das águas em córregos urbanos, sendo esses problemas quase uma unanimidade na RMSP. Verificou-se, através da simulação de cenários, para contenção de cheias de 100 anos de período de retorno seria necessária a implementação de estruturas demasiadamente robustas, incompatíveis com a dimensão da área de estudo.

3.1 Best Management Practices (*BMP's*)

Apresentam-se a seguir algumas *BMP's* estruturais levantadas pelo grupo, com breve descrição de características. Ao final, por meio de uma breve análise comparativa entre as alternativas e de adequação à bacia analisada, será(ão) selecionada(s) a(s) estrutura(s) mais adequada(s) que será(ão) incorporada(s) aos cenários propostos.

3.1.1 Célula de biorretenção/Jardim de chuva

Uma célula de biorretenção é uma *BMP* concebida com o intuito de captar e tratar a primeira carga de lavagem do escoamento proveniente de chuvas em superfícies impermeáveis. No geral é concebida como um ponto de convergência de uma área em depressão, fazendo com que o escoamento flua para a célula e a água infiltre no solo, sendo também tratada, mas pode estar associada a valetas, canos e outras estruturas de transporte da água. A dimensão da célula depende da permeabilidade do solo e da área de drenagem que será captada.

3.1.2 Trincheira de infiltração

As trincheiras de infiltração são estruturas de controle do escoamento superficial na origem, com a função de coletar, armazenar e infiltrar as águas de chuva (MIKKELSEN, P.S.; JACOBSEN, P., 1993). A principal vantagem de sua instalação é o aumento da infiltração da água no solo devido à menor impermeabilização, com redução da velocidade de escoamento superficial, diminuindo impactos de aporte de grandes quantidades de água em um curto período de tempo. Pode ser construída ao longo das proximidades de uma área impermeável, e como calha para transporte e afastamento de um escoamento coletado.

3.1.3 Pavimento poroso

Um pavimento permeável caracteriza-se, segundo Urbonas e Stahre (1993), por ser um dispositivo de infiltração da água da chuva, onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno. A implantação de pavimentos porosos é uma importante técnica para reduzir a impermeabilização superficial de grandes centros urbanos, tendo impacto baixo ou praticamente nulo sobre a paisagem e estrutura existente da cidade, visando reduzir a vazão drenada superficialmente, melhorar a qualidade da água e contribuir para o aumento da recarga de água subterrânea (Araújo; Tucci; Goldenfum, 2000).

3.1.4 Calha de telhado com barris de chuva

Barris de chuva são estruturas de armazenamento de água da chuva, com o principal intuito de reter a água para usos posteriores, além de consequentemente conter parte do volume inicial de chuva, reduzindo a velocidade de aporte da água em corpos hídricos, diminuir o escoamento superficial e diminuir o consumo de água potável vinda do sistema público de abastecimento, economizando recursos naturais e dinheiro. A implementação de um barril de chuva é simples, e requer a associação a algum sistema de drenagem, geralmente já presente nas residências, como uma calha de telhado, uma trincheira, etc. Sendo assim, seu dimensionamento e estimativa de custos basicamente depende da capacidade de armazenamento que se deseja obter, e os custos do barril.

3.1.5 Telhado verde

Telhados verdes são telhados de construções adaptados para receber uma cobertura vegetal com solo permeável (acima de uma manta impermeável) em um projeto paisagístico. Os benefícios da implantação de um telhado verde incluem a proteção extra da estrutura do telhado da edificação (abrigando-a das intempéries do tempo), melhor conservação e controle de temperatura dentro do edifício (e consequente economia de energia para resfriamento ou aquecimento), retenção de água da chuva, com diminuição da água captada e escoada do telhado para o sistema de galerias de águas pluviais, contribuindo para a diminuição da impermeabilização da superfície do centro urbano e escoamento superficial, e queda da velocidade de aporte da água em corpos hídricos e enchentes.

3.1.6 Análise Comparativa das BMP's

Tabela 14 – Comparaçao entre alternativas de BMP's estruturais.

Alternativa	Área (m ²)	Custo (R\$/m ²)	Eficiência	Operação/Manutenção
Célula de biorretenção	Variável, superficial	55,00 a 220,00	Alta	Baixa/Alta
Trincheira de infiltração	Variável, linear	87,70	Média	Baixa/Baixa
Pavimento poroso	Variável, superficial	10,00 a 19,00	Alta	Baixa/Média
Calha de telhado com barris de chuva	~1 m ² /barril	150,00 a 200,00 358,26 a	Baixa Média	Baixa/Média
Telhado verde	Variável	685,21		Baixa/Alta

Fonte: Autores. Adaptado de The Pennsylvania State University (2017), Graciosa, Mendiondo e Chaudhry (2008), Araújo, Tucci e Goldenfum (2000) e U.S. General Services Administration (2017).

É possível concluir que as alternativas levantadas se assemelham quanto aos objetivos para os quais são implementadas: a redução do escoamento superficial e a contenção de cargas difusas por ele carreadas. O que as diferenciam são o método de implementação, a área disponível necessária, custo, eficiência e questões operacionais.

As alternativas de telhados verdes e calhas de telhado com barris de chuva foram inicialmente descartadas para o presente estudo, pois são medidas que devem ser precedidas por conscientização da população, para que tenham convicção do papel da contribuição de cada indivíduo nos problemas de drenagem. São alternativas que, eventualmente, deverão contar com subsídios governamentais, de modo a incentivar a

adoção das infraestruturas por parte dos residentes. Dessa forma, optou-se por não considera-las neste estudo, sendo medidas complementares com potencial futuro.

Das BMP's restantes, considerou-se com maior destaque a alternativa de implementação de pavimentos permeáveis. Sabe-se que na região da Bacia do Jacarezinho, assim como na maioria das regiões periféricas da cidade de São Paulo, há grande deficiência na qualidade dos pavimentos das vias. A implantação de pavimentos permeáveis, além dos benefícios já mencionados, é passível de ser realizada em etapas e com menor intervenção e custos envolvidos. O que se pretende é a gradativa substituição dos pavimentos de asfalto convencional degradados pelo pavimento permeável, sendo esse um aspecto que destaca essa alternativa em relação às demais.

3.2 Parque Linear

Visando aproveitar as áreas verdes nos entornos de rios e córregos das regiões do bairro, propõe-se a criação de parques lineares nessas regiões para o auxílio na contenção de inundações, para que essas não afetem o cotidiano na população e trechos mais a jusante da bacia, evitando maiores transtornos.

Parques lineares associados a reservatórios *in-line* são medidas de contenção de eventos pluviais, atuando no retardamento do escoamento para que a velocidade do escoamento superficial (elevada em centros urbanos com alto índice de impermeabilização) diminua, reduzindo a vazão nos rios e córregos. Suas características são específicas para cada região implementada, mas comumente contam com uma rede de drenagem para regulação da vazão escoada, iluminação pública, passagens de pedestres, arborização paisagística e reservatório para controle de cheias, conforme Manual Técnico elaborado pelo Projeto Soluções para Cidades (2013).

3.3 Ocupações Irregulares

Conforme visto no mapa de uso e ocupação apresentado anteriormente na Figura 3, há na bacia em estudo uma região de moradias irregulares que não dispõe de rede de coleta de esgoto. Em um projeto mais amplo, a proposição ideal de solução certamente trataria de endereçar essa questão, com alternativas de regularização da região, realocação das famílias moradoras em outras regiões com habitações populares adequadas e até a construção de rede de coleta de esgoto dedicada às residências. Entretanto, não é o foco do presente projeto abordar tal questão, devido às implicações de desapropriação, remoção de famílias, demolição de habitações irregulares, questões legais e processos em âmbito jurídico, e projetos de habitação populares que poderiam solucionar a questão. Sendo assim, nossas análises mantêm essa região sem intervenção, com a consequência da manutenção do aporte de esgoto e suas cargas poluidoras diretamente no corpo hídrico.

3.4 Cenários Propostos

O tratamento e combinação dos elementos citados anteriormente fornecem um embasamento para a proposição de cenários de soluções, que deverão contribuir para a melhoria de índices de qualidade de água e contenção de eventos de inundações na bacia. Com isso em mente, deve-se incorporar a essas proposições a questão da cronologia de implantação, para que as soluções sejam sinérgicas e não sejam incoerentes umas com as outras. Sendo assim, a ordem proposta de implementação dos cenários trata de tornar esse processo eficiente e acumulativo, para que sejam atingidos os objetivos de melhoria da bacia. Apresentam-se a seguir os cenários:

- O Cenário 1, a ser implementado primeiramente, deverá contar com uma rede complementar de esgoto, que interligue toda a rede existente, além da construção e ampliação de coletores-tronco ao longo das margens do Rio Jacarezinho, de forma que todo o esgoto da região irá convergir para o coletor tronco principal da região.
- O Cenário 2, a ser implementado em seguida, prevê a implantação das estruturas propostas no Cenário 1, e em complementação, parques lineares ao longo das margens dos rios e córregos da bacia, associados à reservatórios *in-line*, que endereçarão problemas quantitativos, contendo eventos hidrológicos intensos que resultariam em inundações.
- O Cenário 3, além das estruturas do Cenário 2, deverá ser restruturada e corretamente dimensionada uma travessia com um conduto fechado, que representa um gargalo para o escoamento da água à sua montante, incorrendo em riscos de inundações para a região. A travessia em questão é melhor detalhada na seção de resultados dos cenários.
- O Cenário 4, que deve ser implementado por último, conta com a aplicação e até substituição de pavimentos convencionais por pavimentos porosos, que contribuem para o aumento da infiltração superficial e diminuem o aporte de águas pluviais direta e rapidamente nos corpos hídricos, quando em eventos hidrológicos intensos.

A Figura 34 exibe o fluxograma proposto para implementação dos cenários.

Figura 34 – Fluxograma representativo das etapas de implementação



Fonte: Autores.

3.5 Best Management Practices Não Estruturais

Cabe fazer um breve levantamento de algumas das BMP's não estruturais, ou seja, que não envolvam a construção de obras de engenharia, e que consistem em ações de políticas públicas, geralmente por meio de serviços, que também impactam índices de qualidade da água e até mesmo eventos de inundações:

- Varrição de ruas e calçadas;
- Limpeza e desentupimento de bueiros;
- Campanhas de conscientização da população sobre descarte correto de resíduos;

4 RESULTADOS

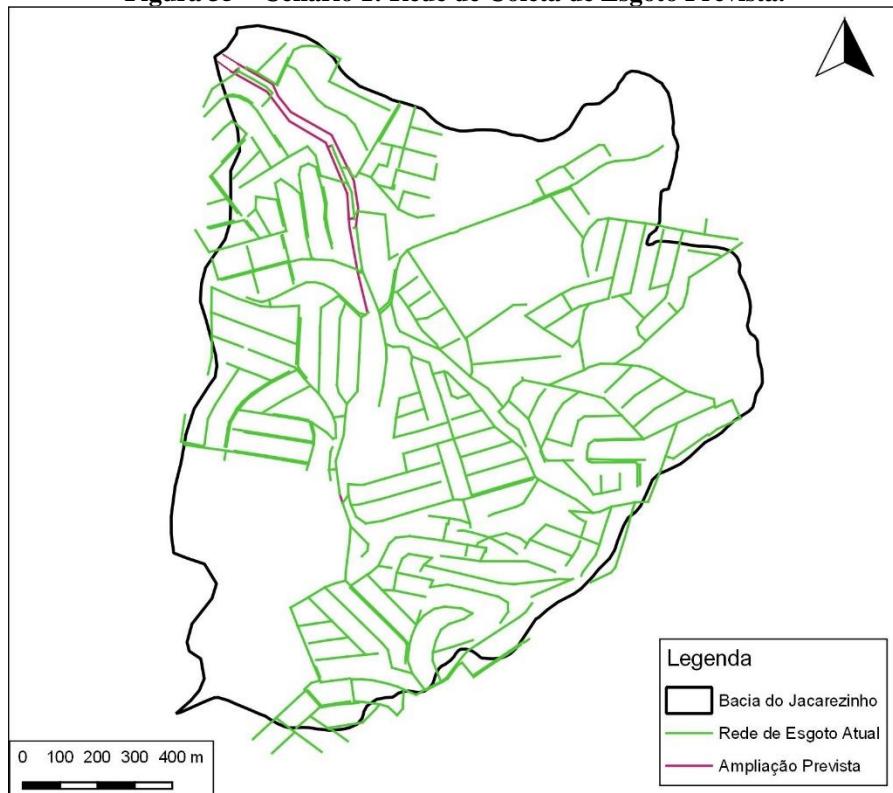
Os cenários propostos foram sugeridos na ordem anunciada por motivos técnicos e de planejamento das obras a serem realizadas para sua implantação. A alteração da ordem por exemplo dos cenários 2 e 3, por exemplo, numa eventual reforma da seção problemática antes da implementação do parque linear acarretaria num aumento de velocidade do escoamento, piorando ainda mais o problema de inundação à jusante. Dessa forma, todos os aspectos foram considerados e chegou-se na referida ordem de implantação dos cenários.

4.1 Cenário 1

Para o Cenário 1 são propostas medidas que visam à ampliação da rede de coleta de esgoto, impedindo que o mesmo seja lançado aos corpos hídricos da bacia. O objetivo da complementação da rede de coleta é a redução do aporte de cargas poluidoras aos córregos, proporcionando uma melhoria da qualidade da água em tempo seco.

É proposta a ampliação da rede de coleta de esgoto que atualmente já serve a totalidade das residências regulares da bacia do Jacarezinho, impedindo que o efluente atinja diretamente os córregos. A Figura 35 ilustra uma representação da rede ampliada.

Figura 35 – Cenário 1: Rede de Coleta de Esgoto Prevista.



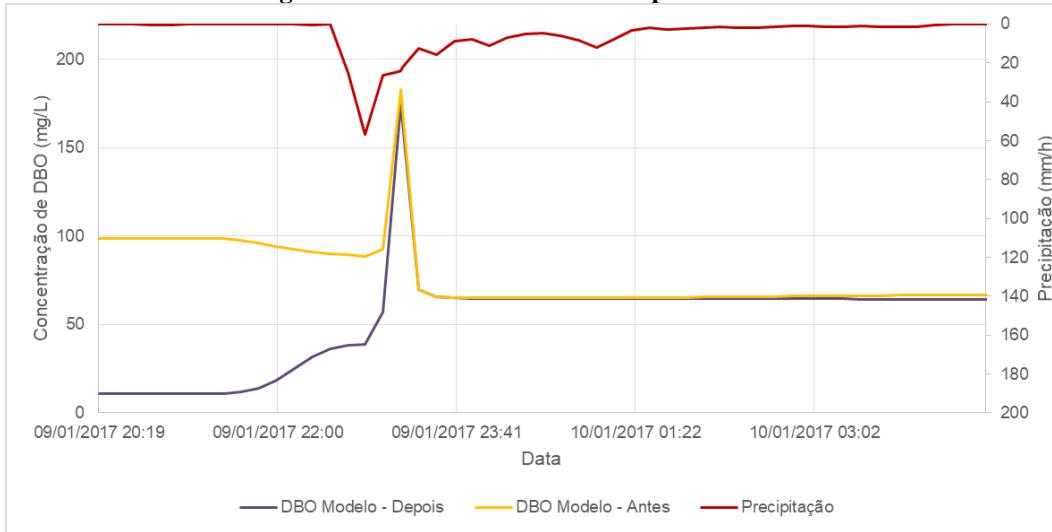
Fonte: Autores.

Conforme já mencionado, o projeto não contempla a coleta de esgoto das moradias irregulares, por se tratar de uma questão social um tanto quanto complexa, não prevista pelo escopo do trabalho.

Os resultados a seguir são referentes à Seção de Controle pré-determinada, anteriormente exibida na Figura 29.

- **Demandâ Bioquímica de Oxigênio:** Os resultados de tal parâmetro foram comparados para o evento de precipitação do dia 09 de janeiro de 2017, o mesmo utilizado para verificação do modelo.

Figura 36 – Cenário 1: Resultados para DBO.

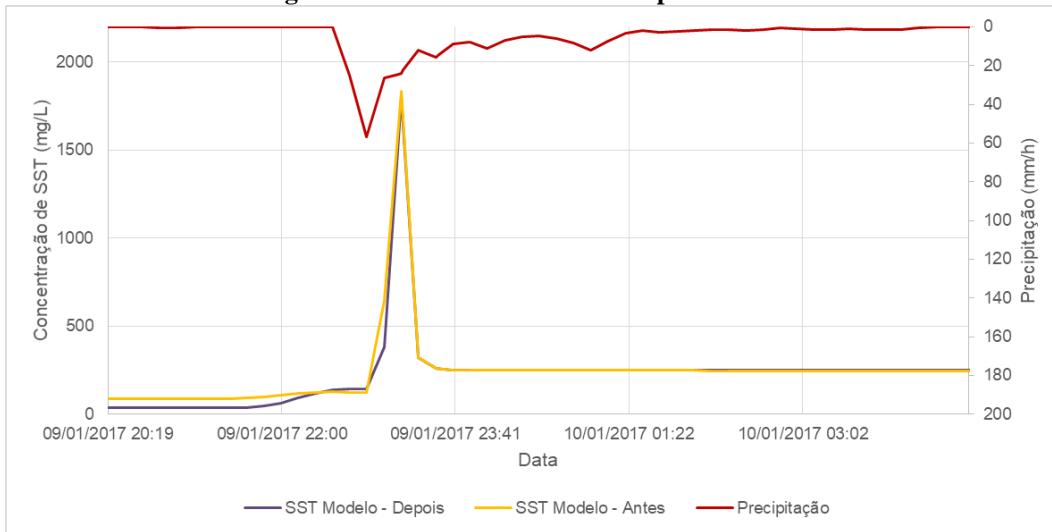


Fonte: Autores.

Nota-se que a concentração de tempo seco é reduzida de 109 mg/L, aproximadamente, para 11 mg/L, o que representa uma diminuição de 90%. Entretanto, conforme já esperado, tal medida não representa influência significativa sobre o pico de concentração que é resultado do aporte de cargas difusas pelo escoamento superficial.

- **Sólidos Suspensos Totais:** Assim como realizado para DBO, os resultados para SST foram comparados com o evento do dia 09 de janeiro de 2017.

Figura 37 – Cenário 1: Resultados para SST.

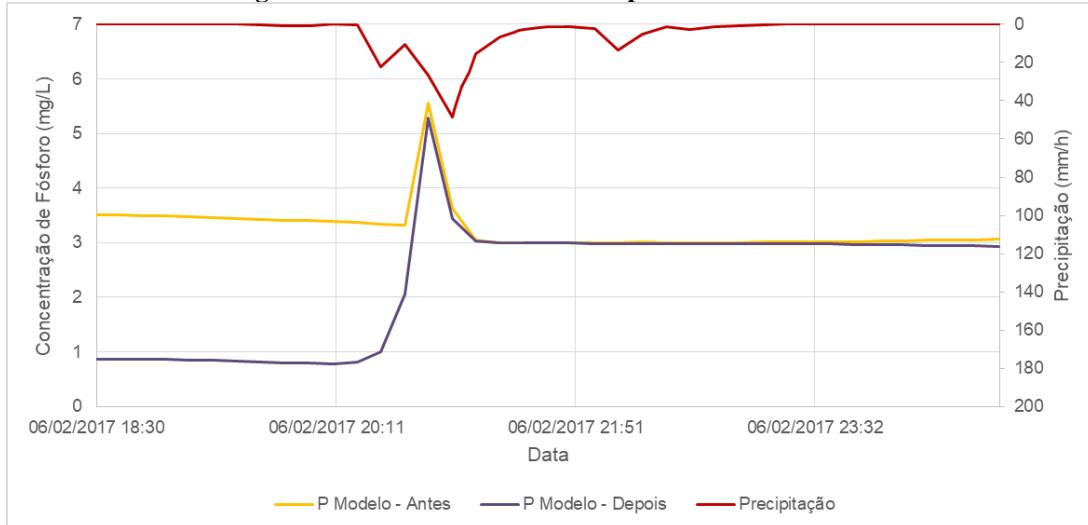


Fonte: Autores.

É possível notar a mesma tendência ocorrida para o parâmetro DBO. Enquanto a concentração de pico mantém-se muito próxima à do cenário real atual, a concentração média de tempo seco sofreu significativa redução de 96 mg/L para 35 mg/L (64%).

- **Fósforo Total:** Os resultados observados, referentes ao evento do dia 06 de fevereiro de 2017, indicam tendência semelhante às observadas para os demais parâmetros de qualidade. A redução do valor de concentração média de tempo seco é de 3,5 mg/L para 0,86 mg/L (75%).

Figura 38 – Cenário 1: Resultados para Fósforo total.



Fonte: Autores.

A ampliação da rede de esgoto prevista para o Cenário 1 prevê a instalação de aproximadamente 1.500 metros de tubulação de concreto de 400 a 2000 mm de diâmetro. O custo previsto é de aproximadamente R\$280,00/metro, de acordo com valores de referência utilizados pela Agência Reguladora de Santa Catarina (AGIR, 2009), o que resultaria em um custo total de aproximadamente R\$420.000,00. É preciso ressaltar que a rede de esgoto deve contar com manutenções preventiva e corretiva ao longo de seu tempo de operação.

4.2 Cenário 2

No Cenário 2, já com as estruturas do Cenário 1 implementadas e consequente melhoria da qualidade da água no tempo seco, é necessário propor estruturas que resolvam os problemas da mancha de inundação na região, conforme visto na Figura 39:

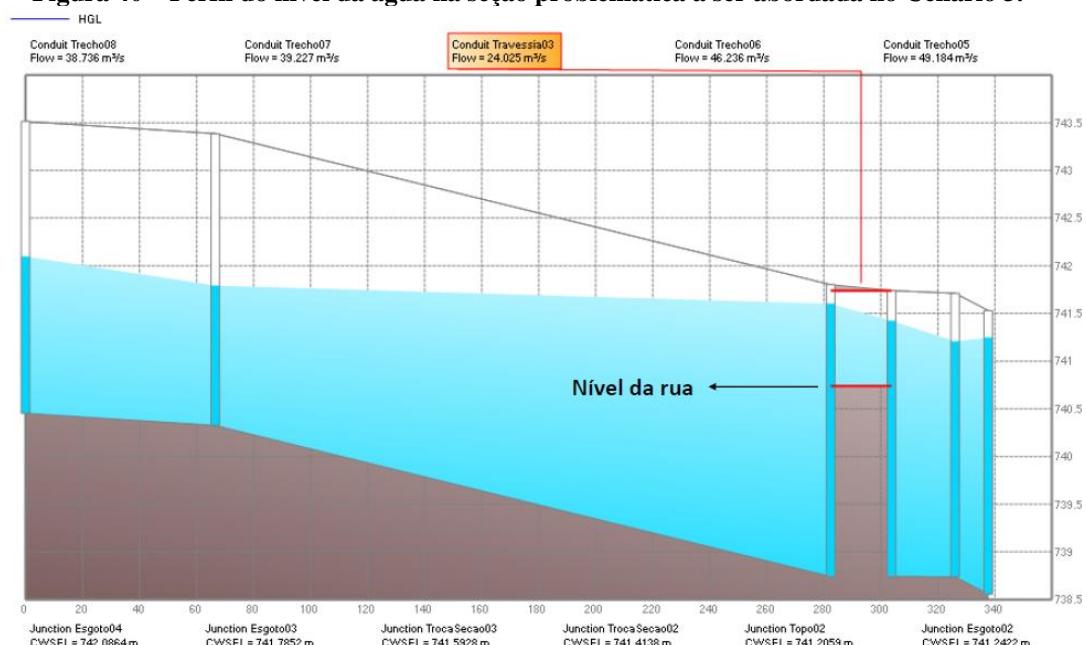
Figura 39 - Mancha de inundaçāo na Bacia do Jacarezinho (T=50 anos).



Fonte: Autores.

O modelo ainda nos mostra o extravasamento da água chegando a níveis acima das bordas da calha do rio, conforme pode ser visto na perspectiva de perfil a seguir. Para a perspectiva em perfil utilizou-se de uma seção hidráulica fictícia (destacada em vermelho, na Figura 40) para a captura da água extravasada, uma vez que devido a limitações do modelo utilizado, a água que escoava acima da seção real da região (devido à inundaçāo) se perdia, não sendo representada no perfil.

Figura 40 – Perfil do nível da água na seção problemática a ser abordada no Cenário 3.

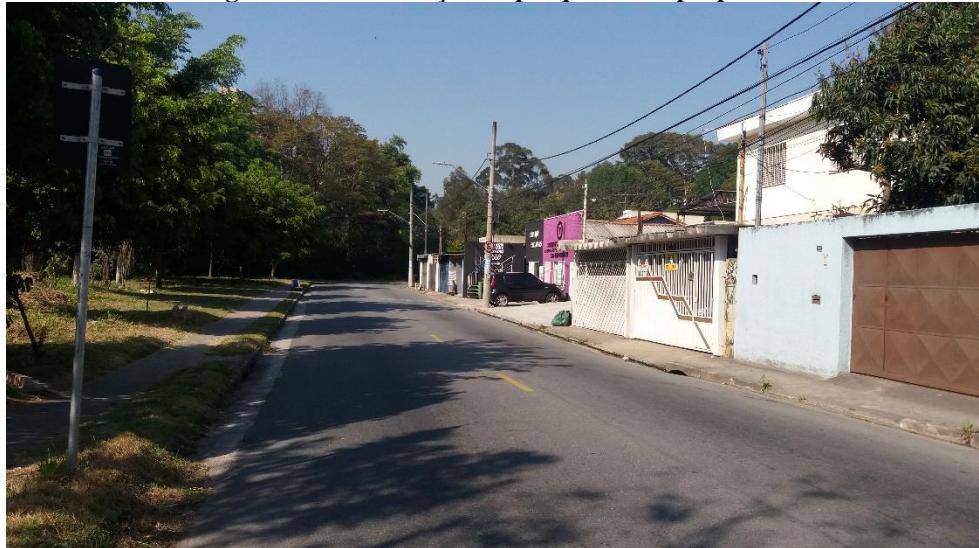


Fonte: Autores.

São verificados extravasamento que atingem as vias com profundidades de até 0,5m e velocidades que superam 2m/s, representando perigo às populações do entorno e seus bens materiais.

Com o objetivo de sanar os problemas de inundação constatados, propõe-se a construção de um parque linear com reservatórios de detenção *in-line*, para armazenamento da água de eventos hidrológicos intensos. Anteriormente às análises de eficiência dos parques lineares como medida de solução para problemas hidrológicos quantitativos e qualitativos da bacia do Jacarezinho, há uma discussão mais aprofundada a ser feita, que justifica a construção dos mesmos. Deve-se ter em mente a importância do parque linear como elemento de revitalização dos corpos hídricos da região, e mesmo a reintegração desses elementos naturais na vida e cotidiano da população ao seu redor. Entende-se que com essa medida, há ainda o incremento do engajamento da população local na preservação do meio ambiente, bem como a conservação dessas estruturas e espaços como local de convivência e lazer, aumentando sua vida útil e eficiência, diminuindo sua manutenção e realmente alcançando os objetivos propostos. Pelos aspectos sociais intrínsecos à essa estrutura, sua importância é evidente. O parque proposto será localizado na região da Rua Prof. Aylton Brandão Joly, cuja atual situação é exibida na Figura 41.

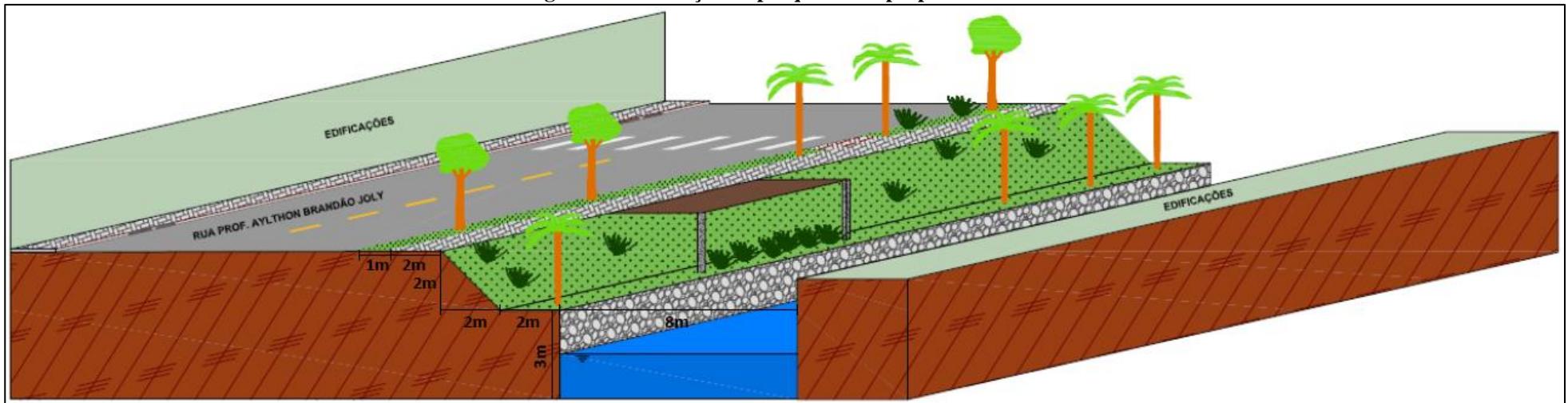
Figura 41 – Localização do parque linear proposto.



Fonte: Autores.

A Figura 42 a seguir, representa graficamente, de maneira simplificada, alguns dos elementos do parque proposto e sua distribuição espacial. Percebe-se que o espaço é muito limitado à margem direita do córrego, onde já existem diversas edificações. À margem esquerda, o espaço é limitado pela via havendo, porém, espaço suficiente para implementação do parque sem qualquer necessidade de intervenção no viário. Percebe-se que a calha do córrego será readaptada para maior capacidade, sendo revestida com gabião, o qual fornece sustentação e permite crescimento de vegetação.

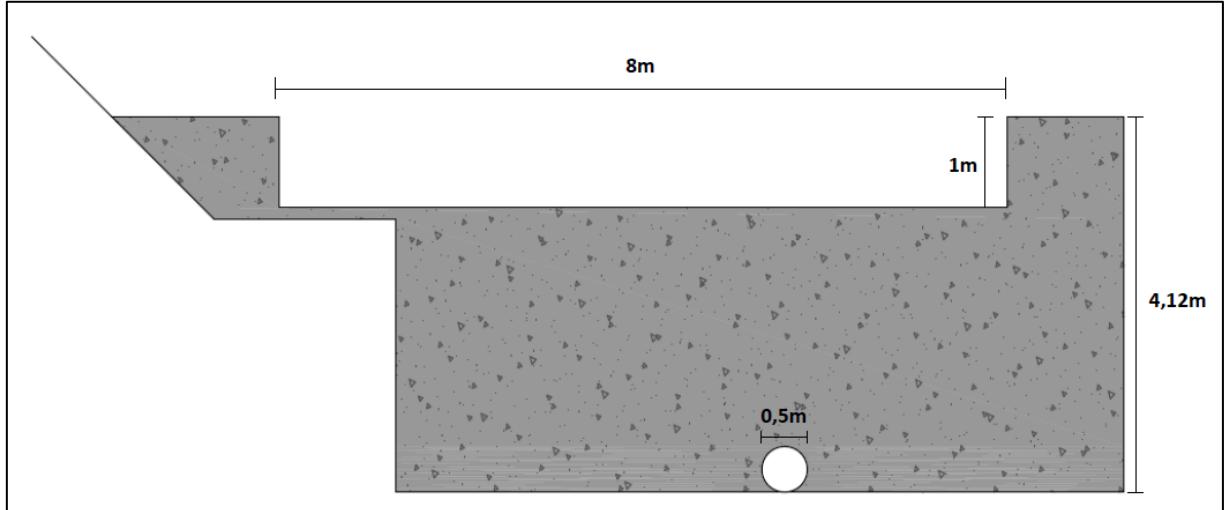
Figura 42 - Ilustração do parque linear proposto.



Fonte: Autores.

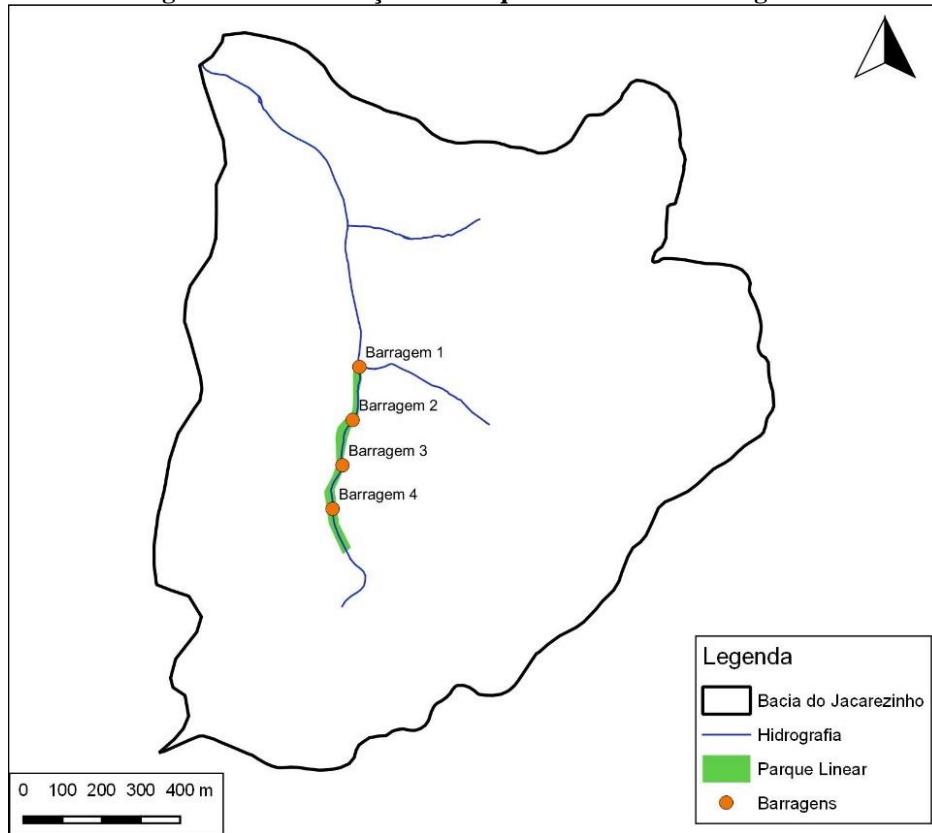
O parque linear contará com 04 barragens semelhantes à indicada na Figura 44, composta por um orifício de descarga com 0,5m de diâmetro e um vertedor com soleira delgada de 8,0m de largura e 1,0m de altura.

Figura 43 – Barragem com orifício de descarga rente ao fundo, evitando acúmulo de sedimentos.



Fonte: Autores.

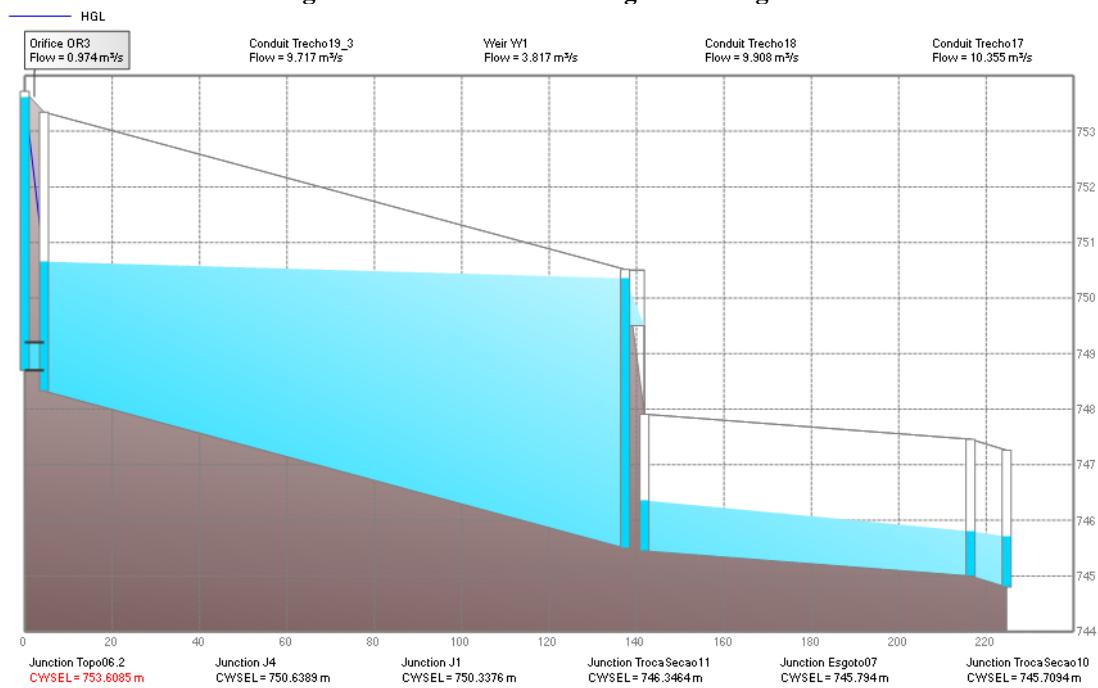
Figura 44 – Localização do Parque linear e suas barragens.



Fonte: Autores.

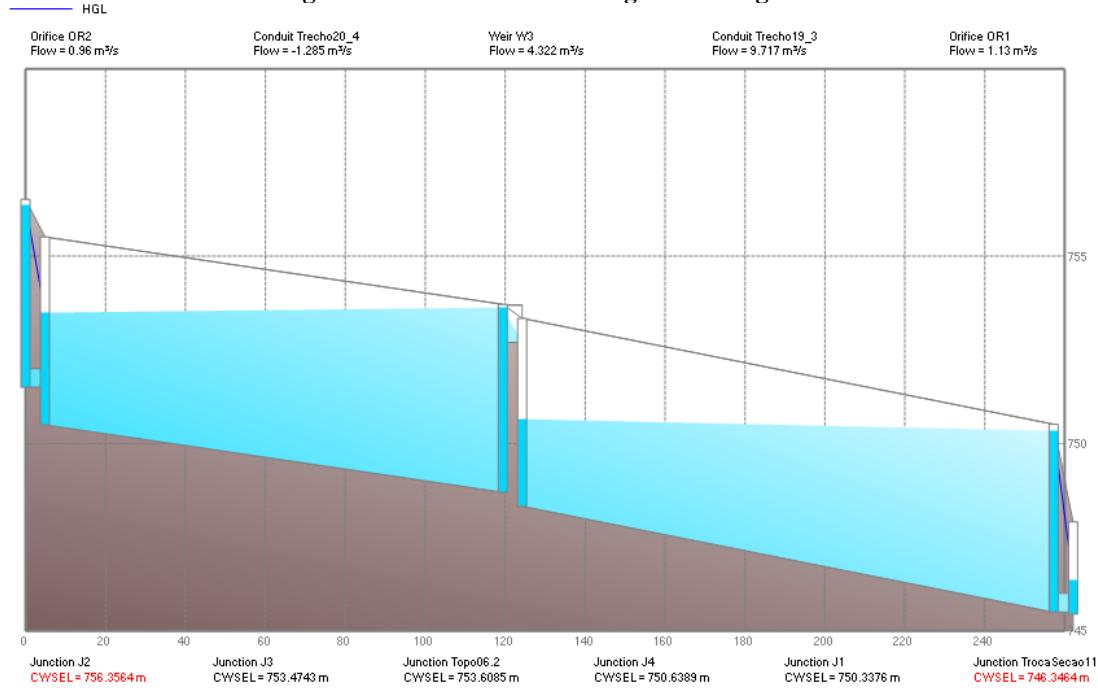
As Figuras 45 a 48 ilustram o perfil do nível d'água obtido para a chuva de projeto (50 anos).

Figura 45 – Perfil do Nível d’água - Barragem 1



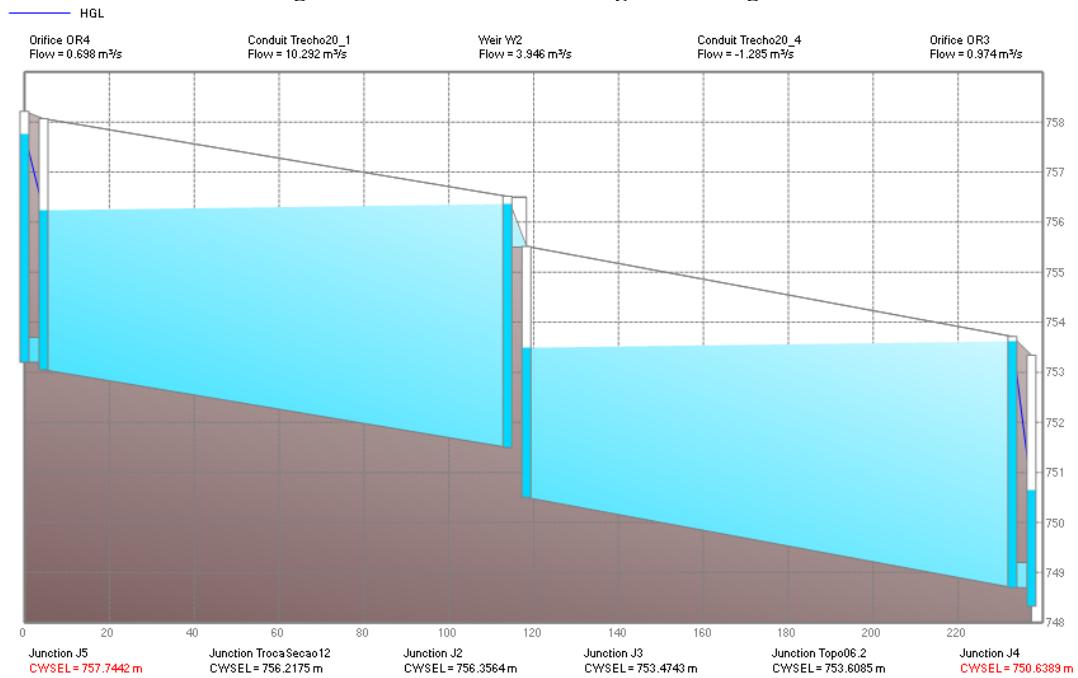
Fonte: Autores.

Figura 46 – Perfil do Nível d’água - Barragem 2



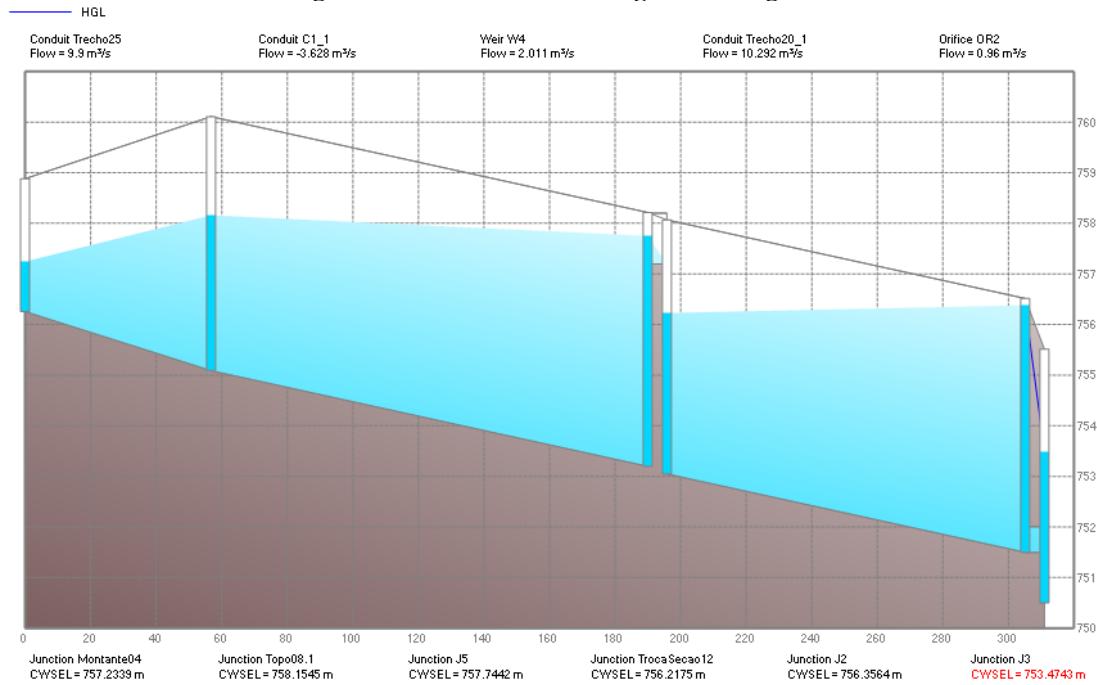
Fonte: Autores.

Figura 47 – Perfil do Nível d’água - Barragem 3



Fonte: Autores.

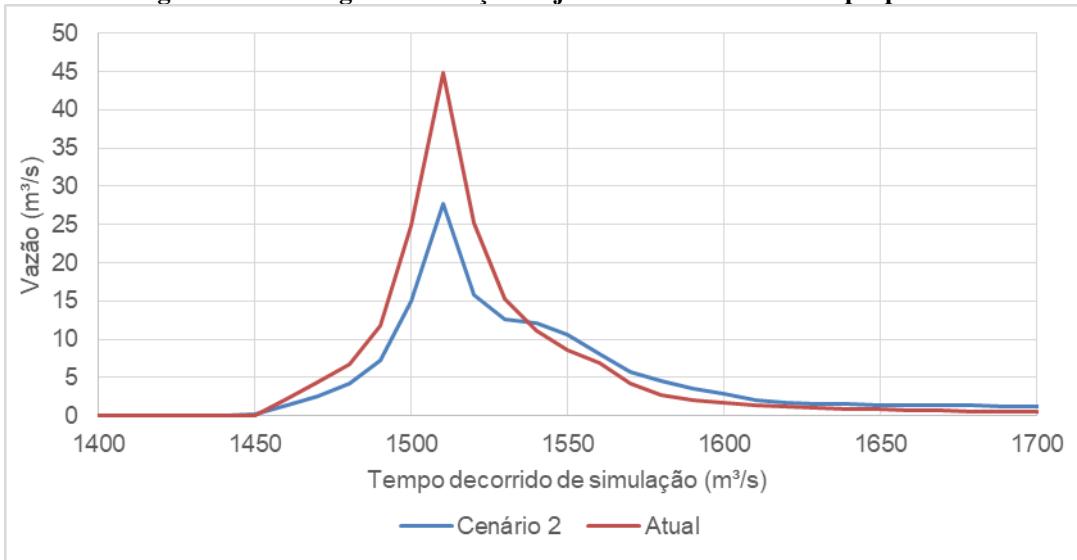
Figura 48 – Perfil do Nível d’água - Barragem 4



Fonte: Autores.

Os hidrogramas a seguir são representativos da seção imediatamente de jusante aos reservatórios propostos, sendo exibidos os resultados anteriores e posteriores à efetuação das medidas propostas no Cenário 2. O pico de vazão é reduzido de 45 m³/s para 27 m³/s, devido ao amortecimento da cheia proporcionado pelas barragens.

Figura 49 – Hidrograma da seção de jusante aos reservatórios propostos



Fonte: Autores.

Para a acomodação do parque linear proposto não haverá a necessidade de realizar nenhum tipo de desapropriação, o que reduz os custos de implantação do projeto. Serão realizadas as seguintes intervenções: pomar, pista de caminhada, equipamento de ginastica, sanitários públicos, iluminação, irrigação automatizada, bacia de controle de cheias com espelho d'água, interceptores de esgoto, complementação de microdrenagem e urbanização da Rua Professor Aylton Brandão Joly. A execução do projeto ocorrerá da seguinte forma:

- Escavação;
 - Equipamentos:
 - Escavadeira de concha ou retroescavadeira;
 - Equipamento de Proteção Individual (EPI);
 - Caminhão de concreto;
 - Compactadores;
 - Transporte do material retirado;
 - Material:
 - Tubulação para de esgoto;
 - Peças de concreto pré-moldado (equipamentos de lazer);
 - Vegetação para projeto paisagístico;
- Obra de captação de esgoto;
- Obras de macro e micro drenagem;
- Obras no parque;
 - Melhoramentos de via e infraestrutura:
 - Criação ou ampliação de ruas e avenidas de acesso (se necessário);
 - Criação de ciclovias;
 - Criação de caminhos para pedestres;
 - Sanitários;
 - Iluminação;
 - Plantio e relocação de vegetação existente (se necessário);
 - Equipamentos de lazer;
 - Equipamentos de ginastica;

A manutenção do parque será de responsabilidade do órgão público competente, cabendo a ele ditar os prazos e períodos em que serão realizadas as manutenções. Porém, seguem algumas sugestões de ações para manter o qualidade e integridade da obra.

- Limpeza e retirada de resíduos sólidos;
- Manutenção dos equipamentos de lazer;
- Manutenção da rede de esgoto;
- Poda e rega da vegetação;
- Manutenção das ciclovias e caminhos para pedestres;
- Manutenção da rede de iluminação;

Por se tratar de uma área urbana, as chuvas arrastaram muitos resíduos sólidos que acabariam ficando retidos nas barragens do parque linear, o que exige uma atenção maior das equipes de manutenção e limpeza, como por exemplo, o lodo que ficaria retido no fundo das barragens comprometendo a sua efetiva operação. Esse material, por resultar da água de lavagem de uma bacia urbana pode conter matérias perigosos, como metais pesados, sendo assim ele poderia ser retirado e encaminhado a destinação adequada para o seu tratamento.

Os custos de implantação do parque linear são variáveis dependendo do modelo desenvolvido pelo poder público para autorizar a obra. Porém, podemos utilizar como exemplo a obra realizada pela prefeitura da cidade de Belo Horizonte - MG, que construiu um parque linear com as dimensões semelhantes às do projeto apresentado, totalizando um custo de R\$ 2.600.000,00 (Portal Prefeitura de BH, 2007)

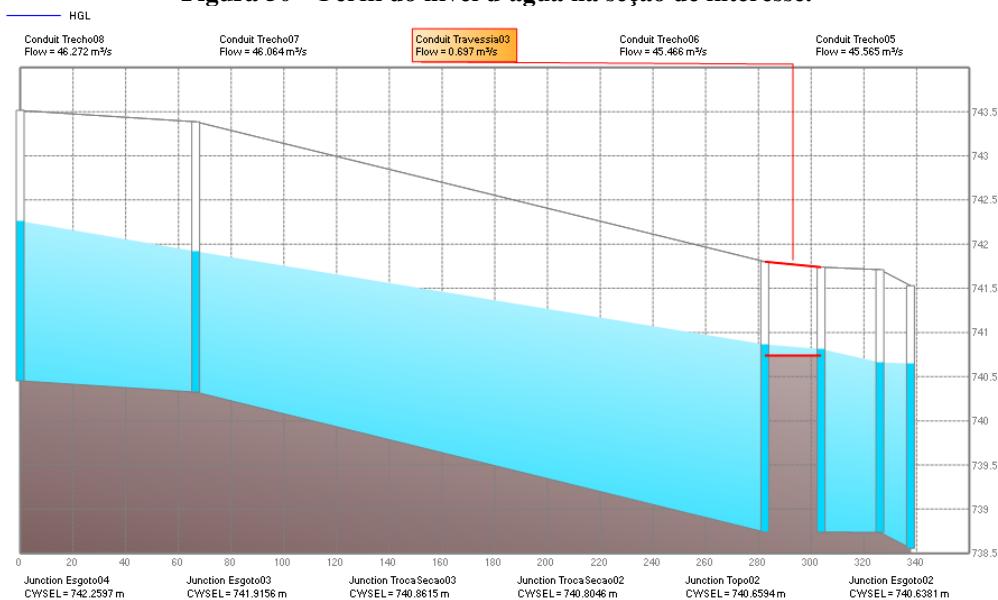
Após a implantação do parque linear, conforme simulação feita no modelo, constatou-se o desaparecimento da mancha de inundação, mostrando a eficiência da estrutura na solução do problema.

4.3 Cenário 3

Para o Cenário 3, após a implantação de todas as estruturas já previamente detalhadas nos Cenários 1 e 2, deve-se concentrar esforços em uma seção problemática que representa um gargalo para o escoamento da água na região.

A Figura 50 ilustra a situação da referida seção após a implementação do parque linear e seus reservatórios *in-line*. Percebe-se que o extravasamento antes constatado foi drasticamente amenizado, sendo que agora chega a atingir uma lâmina de 10 a 15 centímetros nas vias do entorno.

Figura 50 – Perfil do nível d'água na seção de interesse.



Fonte: Autores.

Figura 51 – Seção problemática - montante.



Fonte: Autores.

Figura 52 - Seção problemática - jusante.

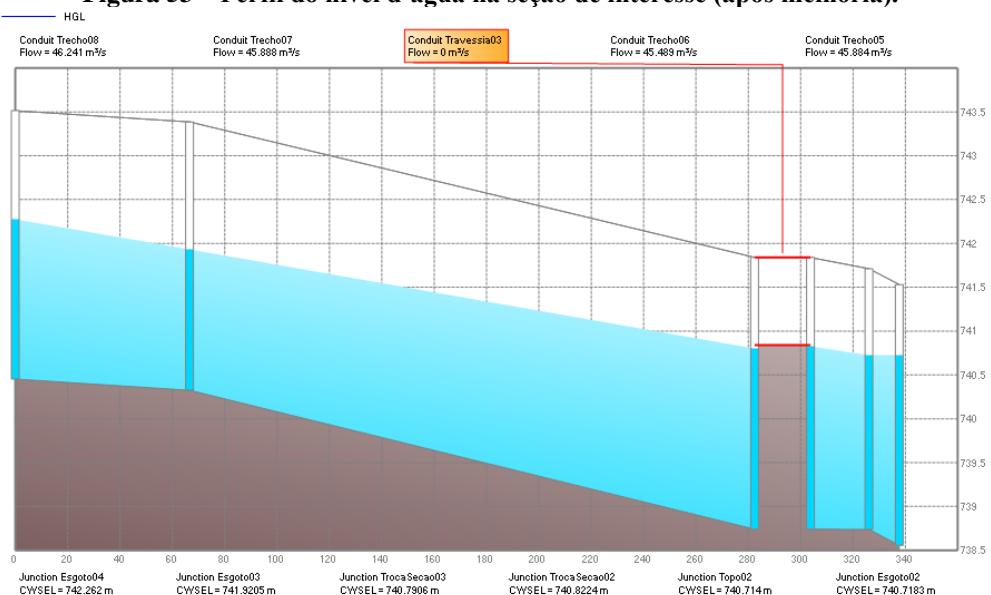


Fonte: Autores.

A partir das Figuras 51 e 52 nota-se que a seção se encontra muito degradada, com comprometimento das estruturas pela ação do escoamento, e um deslizamento do terreno à esquerda na segunda foto, o que pode vir a assorear o canal, prejudicando ainda mais a eficiência da seção. Pode-se verificar também que uma construção irregular no lado direito da segunda foto obstrui parcialmente o conduto, também prejudicando o escoamento. Devido ao estado dessa estrutura, verifica-se um risco de inundação à montante da seção, e seu reparo e dimensionamento adequado é essencial para a melhoria das condições da bacia.

Propõe-se que a travessia em questão seja substituída por 02 tubulações de seção quadrada 2,5m x 2,5m, com maior capacidade em relação às estruturas precárias atuais. A Figura 53 ilustra o resultado obtido no modelo com a estrutura proposta, podendo se notar a eliminação de quaisquer extravasamentos.

Figura 53 – Perfil do nível d’água na seção de interesse (após melhoria).



Fonte: Autores.

Os custos estimados para execução da obra, segundo consultas à Companhia Saneamento de Goiás S.A. (SANEAGO, 2012), são R\$ 6.250,00 para escavação, R\$ 1.600,00 para aluguel de maquinário (retroescavadeira), R\$ 1.250,00 com escoramento, R\$ 1.238,00 com a nova tubulação e R\$ 29.790,00 com a reconstituição do pavimento da via e calçada. O custo total previsto é de R\$ 40.128,00.

4.4 Cenário 4

No Cenário 4, estuda-se a implementação, de forma complementar a todas as estruturas detalhadas nos cenários anteriores, de pavimento poroso em áreas determinadas da superfície da bacia. Com isso, temos como objetivo melhorar a taxa de infiltração da água no solo, reduzindo a impermeabilização superficial, problema recorrente de centros urbanos e que tem como consequência o aumento da velocidade do escoamento superficial, o que contribui para a ocorrência de enchentes. Intenta-se também promover uma redução no aporte de cargas poluentes para os cursos d'água, diminuindo os picos de concentração durante os eventos de precipitação.

A Tabela 15 faz um comparativo entre os tipos de materiais para a camada superficial.

Tabela 15 - Comparativo entre os tipos de materiais para a camada superficial.

Critérios	Material				
	Solo Natural	Blocos Vazados	Asfalto Poroso	Concreto Poroso	Revestimento Impermeável
Tipo de Uso	Praças Estacionamentos Vias De Pedestres Quadras Esportivas	Praças Estacionamentos Vias De Pedestres	Todos Os Usos, Desde Que Com Estrutura Reforçada	Todos Os Usos, Desde Que Com Estrutura Reforçada	Todos Os Usos
Capacidade de Absorção	Varia De Acordo Com O Material	Média	Boa	Boa	Nula
Aspecto Visual	Rústico	Bom, Com Possibilidade De Variação De Cores	Semelhante Ao Asfalto Comum	Semelhante Ao Asfalto Comum	Semelhante Ao Asfalto Comum
Periodicidade de Manutenção	6 Meses	6 Meses A 1 Ano	Varia De Acordo Com O Uso (6 Meses A 2 Anos)	6 Meses A 2 Anos	Depende Do Local
Custo de Implantação	Baixo	Alto	Médio	Médio	Médio
Custo de Manutenção	Médio	Alto	Médio A Alto	Médio A Alto	Baixo
Resistência ao arrancamento	Medíocre	Boa	Média	Média A Boa	Boa
Aderencia	Baixa	Média	Muito Boa	Boa	Boa
Acustica	Ruim	Média	Boa	Boa	Média
Retenção de partículas sólidas	Np	Muito Boa	Muito Boa	Muito Boa	Muito Boa
Retenção de metais pesados dissolvidos	Np	Muito Boa	Baixa	Muito Boa	Baixa

Fonte: Adaptado de Azzout *et al.* 1994; adaptado de Fach *et al.* 2002. NP=não pesquisado

Com o intuito de avaliar o potencial impacto sobre os recursos hídricos subterrâneos, diversas pesquisas estudam a qualidade da água infiltrada através dos pavimentos permeáveis. Os

estudos têm sido feitos em dois níveis: no reservatório (a variação da concentração de poluentes com a profundidade) e no solo subjacente. Os principais mecanismos de retenção de poluentes na estrutura são a sedimentação, a filtração e a adsorção química dos materiais. Esse último efeito depende do material usado na sub-base do pavimento (Pratt, 1989 *apud* CIRIA, 1996).

Na Tabela 16, pode-se observar a variação da concentração de poluentes da superfície à base do reservatório, em casos estudados na França.

Tabela 16 - Redução na concentração de poluentes – pavimento poroso

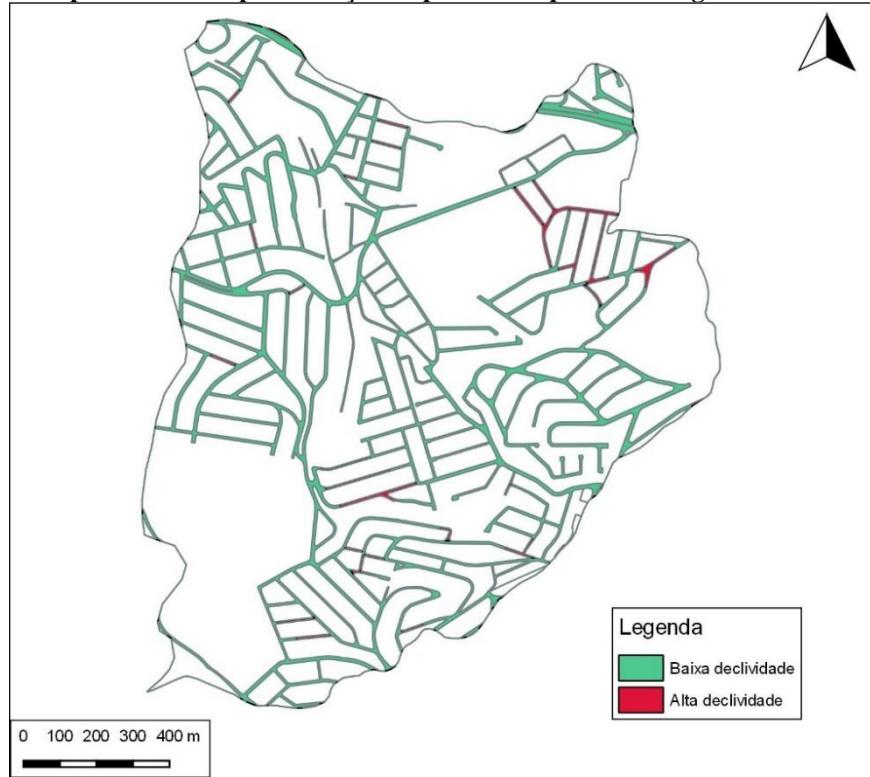
Local	Características	Diminuição da poluição em concentração (%)				
		MS	DQO	Pb	Zn	DBOs
Rue de la Classerie em Rezé (Nantes)	Asfalto poroso + reservatório de britas	61		81	67	-
Parc d'échange de Caillou (Bordeaux)	Asfalto poroso + concreto poroso (base)	36	79	86	-	-
ZAC de Verneuil (Paris) ZONA I	Asfalto poroso + reservatório de britas	81	63	76	35	45
ZONA II	Asfalto convencional + reservatório de britas	68	48	77	45	39
ZONA III	Vários tipos de estruturas	1	14	50	16	7

Fonte: Adaptado de Raimbault *et al.* 2002.

Legenda: MS=Matéria em suspensão; DQO=Demandânia química de oxigênio; DBOs=Demandânia bioquímica de oxigênio.

A análise de viabilidade de implementação de pavimento permeável na Bacia do Jacarezinho iniciou-se com o levantamento das vias de maior declividade, as quais foram descartadas. Deve-se maior preferência às vias mais planas, nas quais a infiltração será mais eficiente. As áreas passíveis de implementação segundo esse critério são exibidas na Figura 54.

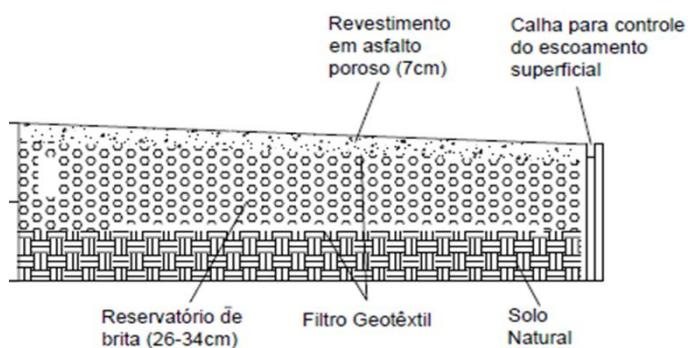
Figura 54 – Áreas passíveis de implementação de pavimento poroso na região da Bacia do Jacarezinho.



Fonte: Autores.

Dos 264.394 m² de vias da bacia, descartou-se 21.890 m², totalizando 242.504 m² de vias passíveis de se instalar pavimento poroso. Considera-se inviável a execução de tal intervenção na totalidade dessas vias, sendo recomendada a instalação prioritária em regiões consideradas como eixos principais: o entorno de 50m do Córrego do Jacarezinho e 50m no entorno das áreas verdes principais. Dos 242.504 m², 51.243 m² (21%) encontram-se em tais regiões prioritárias, nas quais serão instalados o pavimento permeável. A figura a seguir indica o perfil construtivo do pavimento proposto.

Figura 55 – Perfil Construtivo do Pavimento

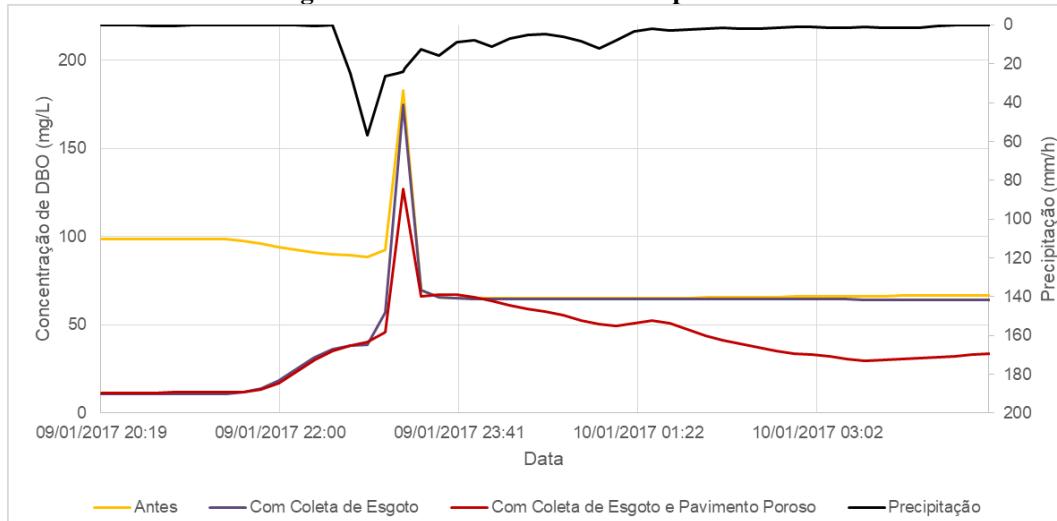


Fonte: Adaptado de Azzout *et al.*, 1994

Para simulação dos eventos de precipitação com o pavimento poroso instalado, foram consideradas eficiências de remoção de 40% para DBO, 70% para SST e 50% para Fósforo total. Tais ordens de grandeza são baseadas nas informações da Tabela 17. Considerou-se que essas eficiências de remoção seriam obtidas caso a totalidade de vias passíveis de implementação fossem utilizadas, portanto, como apenas 21% dessas vias serão realmente submetidas a intervenção, optou-se por utilizar uma eficiência de remoção proporcional a esse número.

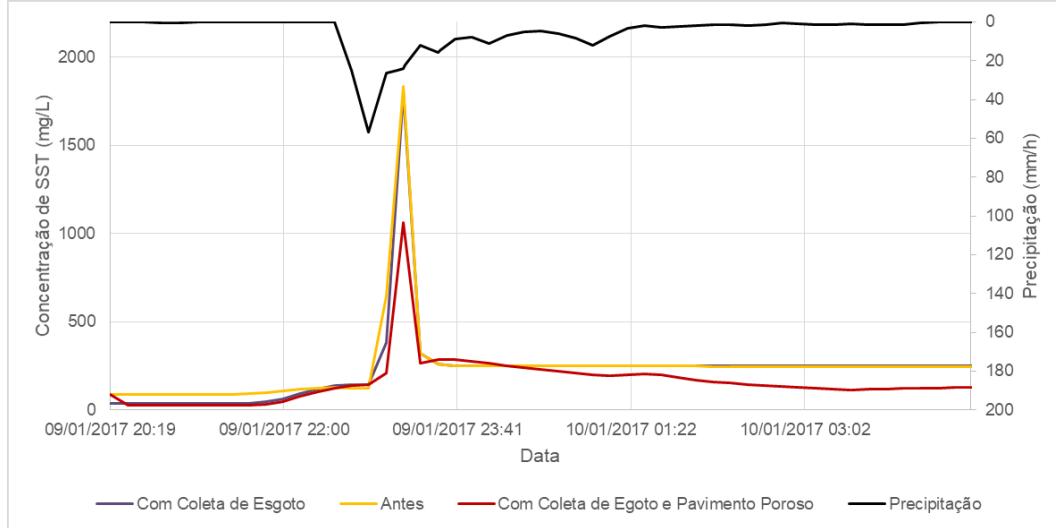
Sendo assim, os valores que foram abatidos dos parâmetros de *surface buildup* e *surface washoff* foram 8,4% para DBO, 14,7% para SST e 10,5% para Fósforo total, obtendo-se os seguintes resultados:

Figura 56 – Cenário 4: Resultados para DBO.



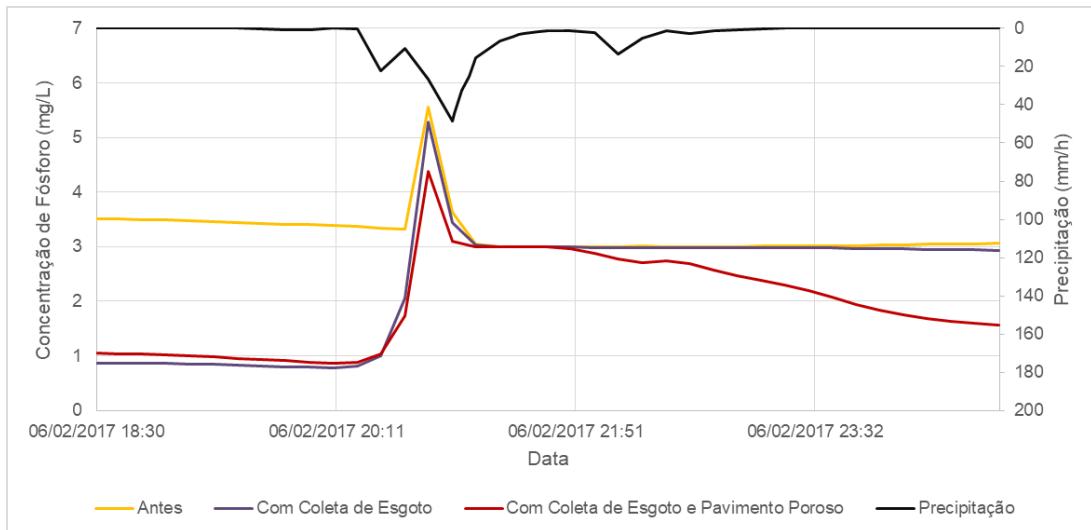
Fonte: Autores.

Figura 57 – Cenário 4: Resultados para SST



Fonte: Autores.

Figura 58 – Cenário 4: Resultados para Fósforo total.

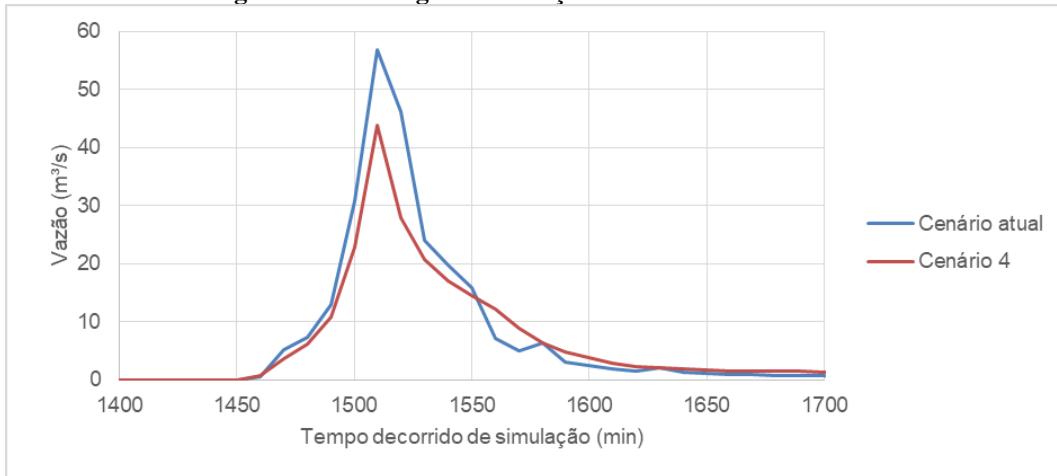


Fonte: Autores.

Conforme previsto, a implementação de pavimento poroso em parte das vias da área de estudo promoveu uma redução na concentração de pico dos parâmetros de interesse. Nota-se que a concentração máxima de DBO e SST, no evento de 9 de janeiro de 2017, seriam reduzidas de 180 mg/L e 1.800 mg/L, respectivamente, para 127 mg/L e 1.060 mg/L. Já no evento de 6 de fevereiro de 2017, o parâmetro Fósforo total sofreria redução de 5,5 mg/L para 4,2 mg/L.

Em relação ao abatimento dos picos de cheia, simulou-se no modelo uma situação em que a área de 51.243 m², antes ocupada por vias impermeáveis, agora estaria ocupada por vias permeáveis. O hidrograma a seguir é referente à seção de controle, para a chuva de período de retorno de 50 anos.

Figura 59 – Hidrograma da seção de controle – T=50anos



Fonte: Autores.

É possível notar que, com a concretização de todas as medidas propostas, ocorre diminuição do pico de cheia de aproximadamente 57 m³/s para 44 m³/s, bem como retardamento do início da ascensão da vazão. Ocorre também diminuição do volume escoado pela seção, de 158.700 m³ para 148.900 m³, sendo tal redução atribuída essencialmente à estrutura de pavimento poroso, que permite maior infiltração e diminuição do escoamento superficial em direção aos córregos.

Para fazer o levantamento do custo de implantação do pavimento poroso, foi realizada uma pesquisa com a Revista Infraestrutura Urbana – Projetos, Custos e Construções (2011). O custo total, incluindo a escavação para assentamento da brita de base, de acordo com a fonte citada, é de R\$ 155,00/m². Totalizando, para os 51.243m², de pavimento poroso, o valor final de R\$ 7.942.655,00. É importante citar que há a necessidade de manutenção do pavimento citado e para isso é necessário o monitoramento do seu uso longo do seu período de vida útil para que ele continue atendendo aos objetivos para o qual foi projetado e isso pode levar a custos que vão além do valor final citado acima. A sua manutenção tem um custo menor por m² do que o necessário na sua implantação inicial, porém não é possível estimar o valor exato, já que o seu desgaste e necessidade de manutenção ficam a critério de como ele será exigido.

5 CONCLUSÃO

Ao longo do presente estudo, desde a realização da pesquisa bibliográfica até a fase de levantamento dos dados e posterior análise, foi verificada a importância da elaboração do estudo e de cada etapa de sua realização. Mais do que a integração de diversos temas abordados durante o curso da graduação, a elaboração do estudo permitiu a consolidação de conhecimentos e habilidades essenciais na atuação profissional.

Após a realização das visitas técnicas e análise de dados, em grande parte fornecidos pela FCTH, concluiu-se que a região da Bacia do Jacarezinho é carente de estruturas sanitárias básicas e de opções de lazer para a população local. Esses fatores estão associados ao fato de que a região se encontra na periferia da cidade de São Paulo e de falhas de gestão pública ao detectar as necessidades da população local e conseguir saná-las de forma objetiva e eficiente. Com o objetivo de obtenção de melhoria na qualidade das águas dos corpos hídricos da bacia e eliminação de problemas relacionados a enchentes, foram propostos quatro cenários de implementação de melhorias. Todos os cenários foram propostos visando à melhoria da qualidade de vida da população local.

O Cenário 1, de forma bem objetiva, buscou a melhoria da qualidade da água e para isso foi simulado a implementação de uma rede complementar de esgoto. Com a aplicação dessa infraestrutura foi possível observar a melhorar dos indicadores estudados, como, DBO diminuição em 90%, SST redução em 64% e Fósforo total com uma redução em 75% na concentração de tempo seco.

O Cenário 2, buscou melhorar a qualidade de vida da população local trazendo algumas opções de lazer, além de eliminar problemas relacionados a inundações, sendo isso possível com a implementação de um parque linear e reservatórios *in-line*. As opções de lazer ficaram a cargo do parque linear, que possibilita a instalação de ciclovias, pistas de caminhada e aparelhos para atividade física.

Já próximo ao exutório da bacia estudada, foi constatada uma seção problemática, que representava um gargalo para o escoamento de água da região, sendo esse o foco do Cenário 3, que sugere a reestruturação e adequado dimensionamento dessa seção para evitar os extravasamentos de água no local.

Por fim, o Cenário 4, apresenta a última melhoria de infraestrutura com a implementação de um pavimento poroso que melhora a qualidade da água escoada, através da sua absorção, reduzindo as concentrações de pico de DBO, SST e Fósforo total e amenizando também o pico de cheia.

A Tabela 17 resume os resultados obtidos para os quatro cenários propostos, cabendo ressaltar o caráter cumulativo dos benefícios adquiridos após a implementação de cada um dos cenários.

Tabela 17 – Quadro Resumo dos Cenários Propostos

Cenário	Benefícios			Custo de Implantação Estimado (R\$)
	Aspectos Quantitativos	Aspectos Qualitativos	Demais Aspectos	
Cenário 1	-	Abatimento na concentração média de tempo seco.	Manutenções na rede	R\$ 420.000,00
Cenário 2	Eliminação dos eventos de extravasamento.	Não mensurado.	Opções de lazer, reinserção do córrego na paisagem de maneira positiva	R\$ 2.600.000,00
Cenário 3	Provisão de maior segurança em uma região diagnosticada como crítica.	-	-	R\$ 40.128,00
Cenário 4	Redução dos picos de cheia.	Redução dos picos de concentração.	-	R\$ 7.942.655,00

Fonte: Autores.

Os cenários apresentados foram construídos e pensados para que os seus resultados fossem complementares, permitindo que as intervenções na região se façam as menores possíveis, causando o menor transtorno à população local e sem a necessidade de realização de nenhuma desapropriação. Assim, é aconselhado que seja seguida a ordem cronológica apresentada, com exceção do Cenário 4 que pode ser implementado de forma gradativa.

Os resultados obtidos são considerados satisfatórios, tendo sido os objetivos propostos alcançados, associados a benefícios complementares. Além da melhoria da qualidade da água dos córregos e a contenção de extravasamentos, com as alternativas propostas obtém-se opções de lazer aos residentes locais e melhoria de aspectos paisagísticos.

6 REFERÊNCIAS BILIOGRÁFICAS

- AGIR. Plano Municipal de Saneamento Básico.** Anexo I, p.2, 2009. Disponível em <<http://agir.sc.gov.br/planos-municipais-de-saneamento-basico/planos-municipais-de-saneamento>>. Acesso em 16 nov. 2017.
- AKAN, A. O., Urban Stormwater Hydrology: A Guide to Engineering Calculations.** Lancaster: Technomic Publishing Co., Inc., 1993
- ARAÚJO, P.R., TUCCI, C.E.M., GOLDENFUM, J.A., Avaliação da Eficiência dos Pavimentos Permeáveis na Redução de Escoamento Superficial,** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2000.
- AZZOUT, Y.; BARRAUDS, S.; CRES, F. N.; ALFAKIH, E. Techniques alternatives em assainissement pluvial.** Paris: Technique et Documentation. 1994
- BRASIL. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos.** Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento. [S.I.]. 2015.
- CIRIA. Infiltration drainage - Manuel of good practice. CIRIA - Construction Industry Research and Information Association - Report 156.** 1996.
- DAEE; CTH. Precipitações Intensas do Estado de São Paulo.** São Paulo. 2016
- FACH, S.; GEIGER, W. F.; DIERKES, C. Development of a assessment procedure for permeable pavements.** In: 9th International Conference of Urban Drainage – Global Solutions for Urban Drainage. Oregon, USA. 2002
- FCTH. Projeto Jaguaré.** 2017.
- GRACIOSA, M.C.P., MENDIONDO, E.M., CHAUDHRY, F.H., Metodologia para o Dimensionamento de Trincheiras de Infiltração para o Controle do Escoamento Superficial na Origem,** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 13, n. 2, p. 207-214, 2008.
- IBGE. XII Censo Demográfico.** 2010
- IBGE/EMBRAPA. Mapa de Solos do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 2001 - Escala 1:5.000.000.
- MACINTYRE, Archibald Joseph. Instalações Hidráulicas.** Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1982. 770p.
- MIKKELSEN, P.S.; JACOBSEN, P. Stormwater infiltration design based on rainfall statistics and soil hydraulics. Proc. ASCE International Symposium on Engineering Hydrology,** San Francisco, California, Metodologia para o Dimensionamento de Trincheiras de Infiltração para o Controle do escoamento Superficial na Origem, p. 653-658, 1993
- PIVELI, R. P.; KATO, M. T. Qualidade das Águas e Poluição: Aspectos Físico-químicos.** São Paulo: ABES, 2006

PORTAL PREFEITURA DE BH. Novo Portal Prefeitura de BH. Disponível em http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiaMunuPortal&app=politicasurbanas&lang=pt_BR&pg=5562&tax=18422. Acesso em: outubro de 2017

PORTE, Rodrigo de Melo. **Hidráulica Básica.** Ed. EESC USP São Carlos, 2006.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Mapa Digital da Cidade. Disponível em <http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/desenvolvimento_urbano/dados_estatisticos/>. Acesso em: maio de 2017.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO. Plano Municipal de Saneamento Básico de São Paulo. São Paulo, 2010. 232 p.

PROJETO SOLUÇÕES PARA CIDADES. Projeto Técnico: Parques Lineares Como Medidas de Manejo de Águas Pluviais. São Paulo, 2013. Disponível em <http://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/10/AF_Parques%20Lineares_Web.pdf> Acesso em 9 nov. 2017.

RAIMBAULT, G.; ANDRIEU, H.; BERTHIER, E.; JOANNIS, C.; LEGRET, M. Infiltration des eaux pluviales à travers les surfaces urbaines – Des revêtements imperméables aux structures-réservoirs. In: Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées. Paris, p. 39-50, maio/junho.2002

REVISTA INFRAESTRUTURA - PROJETOS, CUSTOS E CONSTRUÇÃO. Tecnologia: Pavimento Poroso. Edição 13. Abril de 2011. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/13/artigo254488-2.aspx>>. Acesso em: 16 nov. 2017

SABESP. Norma Técnica Sabesp NTS 025 – Projeto de Redes Coletoras de Esgoto. São Paulo, 2006.

SANEAGO. Preço Base SANEAGO - Relatório Sintético de Composições Unitárias (Construção Civil). 2012.

SÃO PAULO (Estado). Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – Regionalização Hidrológica. Disponível em <[tp://143.107.108.83/cgi-bin/regnet.exe?lig=pdfp](http://143.107.108.83/cgi-bin/regnet.exe?lig=pdfp)>. Acesso em: 15 de setembro de 2017.

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. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.05-18, 2005.

Soil Conservation Service. Hydrology Training Series - Module 104 – Runoff Curve Number Computations. United States Department of Agriculture. 1989.

THE PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY, **Rain Gardens (BioRetention Cells) – A Stormwater BMP**, 25 ago. 2017. Disponível em: <<https://extension.psu.edu/rain-gardens-bioretention-cells-a-stormwater-bmp>>. Acesso em: 13 set. 2017.

URBONAS, B. e STAHRE, P., **Stormwater Best Management Practices and Detention**, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 450p., 1993.

U.S. GENERAL SERVICES ADMINISTRATION, **Green Roofs Cost Benefit Analysis**, p. 67 – 75, 13 ago. 2017., Disponível em: <https://app_gsagov_prod_rdcgwaajp7wr.s3.amazonaws.com/Cost_Benefit_Analysis.pdf>. Acesso em: 13 set. 2017.