

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE INFRAESTRUTURA

CRISTINA SAVI

PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO PARA
CONTROLE DE CHEIAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA NO
MUNICÍPIO DE JOINVILLE-SC

Joinville

2016

CRISTINA SAVI

PRÉ-DIMENSIONAMENTO DE RESERVATÓRIOS DE DETENÇÃO PARA
CONTROLE DE CHEIAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CACHOEIRA NO
MUNICÍPIO DE JOINVILLE-SC

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção de título de bacharel em Engenharia, no Curso de Engenharia de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Joinville.

Orientadora: Me. Simone Malutta

Joinville

2016

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por ter me agraciado com muita saúde, fé e esperança, sendo meu principal suporte.

Aos meus pais, Enedir Savi e Isabel Ghisi Savi, por serem os principais responsáveis por eu chegar até aqui, grandes incentivares em todas as fases e decisões da minha vida, sempre mostrando o quão importante o estudo seria.

Ao meu irmão Daniel Savi, pelo apoio ao longo dos anos, incentivo e companheirismo.

Ao meu amor, Rodrigo Machado, pelo carinho, dedicação, cumplicidade e compreensão nos momentos mais difíceis.

À minha segunda família, Marcia Aparecida Ilario Machado e Sady Machado Filho, pelo incentivo, carinho e disposição a me amparar em qualquer momento de necessidade.

À minha orientadora, Simone Malutta, pela paciência, apoio, dedicação e confiança durante a elaboração do presente trabalho.

Aos professores responsáveis pela minha formação, sem exceção, exemplos a serem seguidos.

Aos grandes amigos, aqueles que acompanharam cada passo dessa etapa, e que muitas vezes tiveram que conviver com a minha ausência, porém sempre me incentivaram a continuar.

Enfim, a todos os envolvidos, aqueles que sempre acreditaram em mim, o meu muito obrigada!

RESUMO

O crescimento urbano desenfreado e sem planejamento promove impactos significativos tanto ao meio ambiente quanto na própria população, gerando, por exemplo, a impermeabilização do solo e afetando assim o escoamento superficial. Neste contexto ocorre o aumento da ocorrência de inundações urbanas, surgindo então a necessidade da aplicação de medidas estruturais que minimizem os transtornos gerados. Na cidade de Joinville/SC, o cenário não é distinto, a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, principal bacia do centro da cidade, sofre os impactos gerados devido ao crescimento sem planejamento. Em decorrência desta problemática, o presente trabalho propõe o pré-dimensionamento de reservatórios de retenção, realizando a delimitação de uma bacia hidrográfica e aplicando os métodos Soil Conservation Service – SCS e Müller – Neuhaus para distintos períodos de retorno. Após o pré-dimensionamento dos reservatórios é realizada uma análise da funcionalidade dos mesmos quando aplicados em áreas selecionadas para sua localização, verificando se tais áreas satisfazem a necessidade da bacia hidrográfica nos diferentes períodos de retorno.

Palavras-chave: Inundações urbanas; Método SCS; Reservatório de retenção.

ABSTRACT

Rampant and unplanned urban growth promotes significant impacts on both the environment and on the population, generating, for example, soil waterproofing and thus affecting surface runoff. An increase of urban flood could occur, and may be necessary to apply some structural steps to minimize that disturbances created. At the city of Joinville/SC the situation isn't different, and the main basin in the city center, called Cachoeira River Basin, suffers the impacts generated by unplanned growth. As a result of this problem, this paper proposes the preliminary design of detention tanks, making the delimitation of a river basin and applying Soil Conservation Service (SCS) and Müller-Neuhaus methods for different return periods. After the pre-dimensioning of reservoirs, an analysis of their functionality is performed when applied to selected areas for their location, verifying whether such areas satisfy river basin needs in the different return periods.

Keywords: Urban flood; SCS Method; Detention reservoir.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mancha de Inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira	15
Figura 2 – Obras na Bacia do Rio Morro Alto.....	19
Figura 3 – Localização das Obras do Projeto Rio Mathias.....	20
Figura 4 – Hidrograma de Amortecimento de Cheias	21
Figura 5 – Parque Barigui em Curitiba.....	22
Figura 6 – Reservatório In-line (a) e Off-line (b)	22
Figura 7 – Reservatório de Detenção.....	23
Figura 8 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira	25
Figura 9 – Área de Estudo	35
Figura 10 – Delimitação Sub-Bacias	36
Figura 11 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo.....	37
Figura 12 – Mapa de Classificação do Solo	40
Figura 13 – Localização dos Reservatórios.....	46
Figura 14 – Locais de Implantação dos Reservatórios.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Medidas Estruturais de Controle de Cheias	18
Tabela 2 – Valores de CN em Função da Cobertura e Tipo Hidrológico de Solo.....	31
Tabela 3 – Área de Ocupação Urbana e Mata Nativa	38
Tabela 4 – Solos Predominantes	41
Tabela 5 – Tempo de Concentração	43
Tabela 6 – Valores de CN	44
Tabela 7 – Capacidade de Armazenamento	48
Tabela 8 – Dimensões da Estrutura de Saída.....	49
Tabela 9 – Vazão de Saída	49
Tabela 10 – Vazão e Volume para diferentes Períodos de Retorno	51
Tabela 11 – Volumes necessários para implantação dos reservatórios.....	56
Tabela 12 – Volume Disponível para implantação dos reservatórios.....	56
Tabela 13 - Análise da funcionalidade dos reservatórios	57
Tabela 14 – Precipitação acumulada	67

LISTA DE HIDROGRAMAS

Hidrograma 1 – Bacia Hidrográfica	51
Hidrograma 2 – Sub – bacia A – Região da Rua Inambu.....	53
Hidrograma 3 – Sub-bacia B – Região da Rua das Cabeleireiras.....	53
Hidrograma 4 – Sub – bacia F – Região da Rua Timbó.....	54
Hidrograma 5 – Sub-bacia G – Região da Rua Dom Bosco	54
Hidrograma 6 – Sub- bacia J – Região da Rua Otto Boehm.....	55
Hidrograma 7 – Sub-bacia M – Região da Rua Saguacu.....	55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Inundações Urbanas.....	13
2.2 Inundações Urbanas na Cidade de Joinville.....	14
2.3 Métodos de Controle de Inundações.....	16
2.3.1 <i>Medidas Não Estruturais</i>	16
2.3.2 <i>Medidas Estruturais</i>	17
2.3.2.1 Obras de Contenção de Cheias em Joinville.....	18
2.3.2.1.1 <i>Rio Morro Alto</i>	19
2.3.2.1.2 <i>Rio Mathias</i>	20
2.4 Reservatórios de Contenção de Cheias.....	21
2.4.1 <i>Reservatório de Detenção</i>	23
3. ÁREA DE ESTUDO	24
3.1 Localização.....	24
3.2 Clima.....	24
3.3 <i>Pedologia</i>	25
3.4 <i>Uso do Solo e Cobertura Vegetal</i>	26
3.5 <i>Geologia e Geomorfologia</i>	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1 Materiais.....	27
4.2 Métodos.....	28
4.2.1 Método SCS.....	29
4.2.2 Modelagem hidrológica – HEC-HMS.....	31
4.2.3 Método de Müller – Neuhaus.....	32
5.1 Delimitação da Bacia Hidrográfica.....	34
5.2 Delimitações das Sub-Bacias.....	35
5.3 Uso e ocupação do solo.....	36
5.4 Classificações do Solo.....	38
5.5 Parâmetros hidrológicos.....	41
5.6 Reservatórios.....	45
6. RESULTADOS	50
7. CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS	63
ANEXO I	67

1. INTRODUÇÃO

Segundo o Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura de Porto Alegre-(DER) (PORTO ALEGRE, 2005), o crescimento urbano dos municípios, nos casos em que sucedem sem planejamento, em conjunto com uma ocupação desordenada de áreas de risco e com a implantação de um sistema de drenagem inadequado, proporciona a geração de impactos significativos ao meio ambiente e à população, prejudicando a qualidade da água e provocando o aumento de sedimentos no escoamento pluvial.

Segundo Tucci (2009), além de outros efeitos, este cenário estimula a geração de condições artificiais da bacia hidrográfica, na qual passa a possuir superfícies impermeáveis, tais como ruas e telhados, gerando o aumento da vazão máxima e do escoamento superficial, assim como a frequência de inundações.

Para minimizar as consequências das situações apresentadas, medidas estruturais e não estruturais podem ser aplicadas, no qual, conforme Tucci (2009), medidas estruturais correspondem a obras de engenharia implementadas que modificam o sistema fluvial, e medidas não estruturais possuem como base a redução dos prejuízos a partir da melhor convivência da população perante situações de inundações. Vale ressaltar que estas não são projetadas para ofertar completa proteção.

Dentre as medidas de controle estruturais, Souza (2013), aponta os reservatórios de contenção de cheias como redutores de inundações de maneira significativa, promovendo o retardamento dos picos de cheias, seja regularizando a vazão afluente, amortizando o valor de pico e/ou amenizando a sobrecarga gerada nas redes de drenagem urbana existentes.

As soluções que envolvem reservatórios de contenção de cheias, em geral, apresentam excelentes possibilidades, principalmente quando há previsão de aproveitamento para outros usos e consideração de melhoria da qualidade ambiental da bacia onde está sendo aplicado (SÃO PAULO, 2012).

Vale ressaltar que o escoamento de águas pluviais independe da existência do sistema de drenagem, porém a qualidade desse sistema delimita a dimensão dos

benefícios ou prejuízos gerados à população. Quanto mais cedo as questões de drenagem forem estudadas e seu planejamento aplicado, menores os custos de execução e manutenção, e melhores os resultados obtidos (SÃO PAULO, 2012).

Dentre os municípios brasileiros, a cidade de Joinville, localizada no estado de Santa Catarina, também se desenvolveu sem o planejamento adequado das questões de drenagem e preservação do escoamento hídrico, fazendo com que parte da população tenha que conviver com os efeitos de inundações causadas por chuvas intensas e/ou variações de maré alta no estuário do Rio Cachoeira (JOINVILLE, 2011).

Conforme consta no documento do Plano Diretor de Drenagem Urbana do Rio Cachoeira (PDDU) da Prefeitura Municipal de Joinville (PMJ) (JOINVILLE, 2011), em épocas de maiores precipitações, a quantidade de água que acende ao Rio cachoeira, ultrapassa a capacidade de escoamento e promove o extravasamento da calha principal, fazendo com que inundações atinjam áreas de ocupação consolidada e cause, além dos transtornos, danos econômicos à população atingida. Este fator agrava-se com a intensificação da ocupação urbana e posturas equivocadas quanto às implantações de obras localizadas, que transferem o problema de montante para jusante da bacia.

Neste contexto, o presente trabalho visa analisar áreas de inundações da sub-bacia Cachoeira, localizada na região central da cidade de Joinville e a partir dos dados obtidos, dimensionar reservatórios de contenção de cheias pelo método Müller – Neuhaus, sugerindo áreas de implantação aos mesmos e verificando se estas atendem as solicitações impostas, com o propósito de reduzir inundações na sub-bacia em estudo.

Objetivos

Objetivo Geral

Dimensionar reservatórios de contenção de cheias aplicando os métodos SCS e Müller – Neuhaus, utilizando como base o manual de drenagem desenvolvido para a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, objetivando a minimização dos pontos de inundações e transtornos gerados nesta bacia.

Objetivos Específicos

- ✓ Caracterizar a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, com relação ao uso e classificação do solo;
- ✓ Propor áreas de implantação aos reservatórios dimensionados;
- ✓ Dimensionar os reservatórios de retenção pelo método proposto nos períodos de retorno de 2, 5, 10,50 e 100 anos, respectivamente;
- ✓ Realizar a análise da funcionalidade dos reservatórios nas áreas pré-estabelecidas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordados temas relevantes às inundações urbanas e sistemas de contenção de cheias, iniciando com conceitos fundamentais de inundação urbana e eventuais transtornos que estas causam à população afetada.

Dentre os temas apresentados, exemplos de obras de contenção são relatados, apresentando as medidas estruturais que foram e estão sendo tomadas na região central da cidade de Joinville, Santa Catarina.

Verifica-se também a importância das medidas de controle de inundações, salientando os reservatórios de retenção para controle de cheias, assim como métodos de dimensionamento utilizados.

2.1 Inundações Urbanas

Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), a população brasileira residente em áreas urbanas corresponde a 84,36% da população total do país, apresentando um crescimento de 16,66% quando comparado aos dados do censo de 1980, década onde ocorreu significativa aceleração do desenvolvimento urbano.

Em razão de o crescimento urbano ter ocorrido de forma desordenada, a população passou a se concentrar em espaços reduzidos e competir pelos mesmos recursos naturais, acarretando a ocorrência de aspectos negativos que influenciam para o agravamento de ocorrência de inundações, podendo citar o aumento da porcentagem de superfícies impermeabilizadas, ocupação de áreas de leitos de rios e canalizações de rios urbanos (TUCCI, 2009).

Neste contexto, o ritmo do crescimento urbano ultrapassou qualquer planejamento efetivo do uso do solo e orientação espacial, acentuando a degradação de recursos naturais e comprometendo os serviços básicos nas áreas urbanas, principalmente aqueles ligados à água e saneamento (BAENINGER, 2010).

O comprometimento destes recursos, dentre outros fatores, provoca deficiências no escoamento superficial, e por consequência, a ocorrência e agravamento de inundações (SANTOS, 2010).

Segundo Oliveira (2010), ainda que as inundações sejam fenômenos pertencentes à dinâmica fluvial, ocupam as áreas marginais dos rios quando a vazão do mesmo é superior à capacidade de descarga da calha, sendo um problema para os seres humanos no momento em que o mesmo não respeita os limites naturais do rio.

Além do relevante fator de desenvolvimento urbano sem planejamento já citado, as inundações podem ocorrer em virtude da ocupação em área ribeirinha, do formato da bacia, da densidade de drenagem, de problemas localizados, como obstruções no escoamento e/ou projetos mal elaborados, entre outros (TUCCI, 1997).

Em suma, tais fatores acarretam transtornos à sociedade, sejam eles no trânsito local, originando engarrafamentos e danos em veículos, na vida social, causando desconforto e medo na população, assim como, prejuízos materiais aos proprietários dos locais atingidos (SANTOS 2010).

2.2 Inundações Urbanas na Cidade de Joinville

Assim como outros municípios do Brasil, a cidade de Joinville, localizada no nordeste de Santa Catarina, enfrenta problemas de inundações urbanas, sendo este um fator agravante para a região, já que segundo o IBGE (2010), o município apresenta 96,62% da população residente em área urbana.

Conforme contextualiza Silveira (2008), a região de Joinville não conseguiu ordenar o crescimento urbano e o município caracterizou-se predominantemente horizontal, sem observar os condicionantes físico-naturais da localidade, gerando assim sucessivas inundações e áreas de risco geológico.

Para agravar a situação, um dos aspectos que distinguem a cidade de Joinville, se dá pelo fato desta ser vulnerável a inundações de maré, até mesmo na ausência de precipitações (CAVION, 2014; SILVEIRA, 2008).

Segundo os estudos de Geissler (2012), a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira é influenciada pela maré até a metade do curso do Rio Cachoeira, sendo estimado que ocorra a elevação do nível máximo da maré para Joinville em cenários

futuros, recomendando então que as áreas naturalmente inundáveis sejam conservadas ou restauradas.

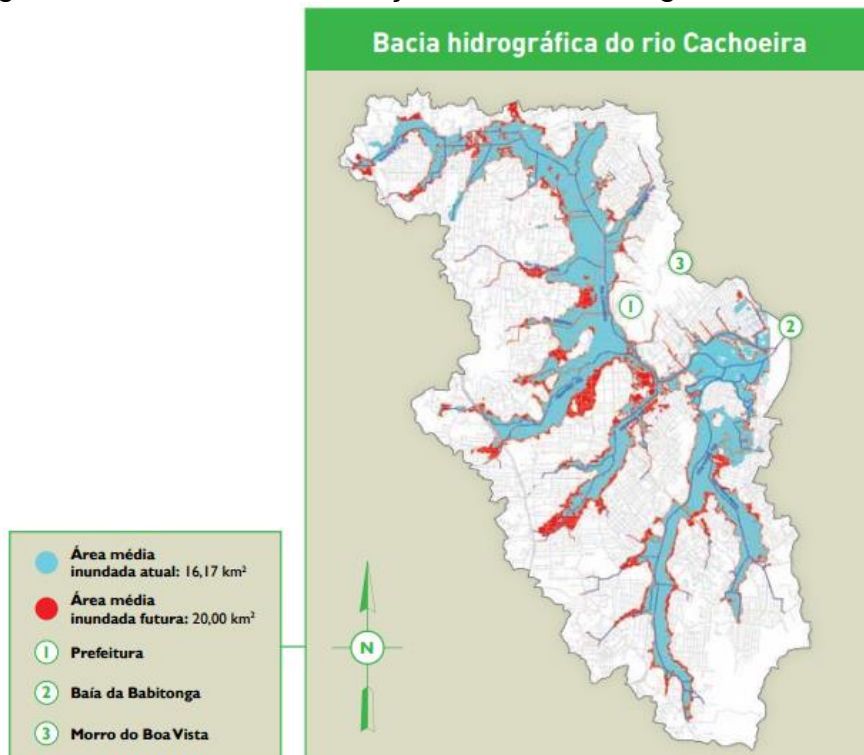
Estes fatores, aliados com a inexistência de uma cultura de tratamento em relação aos corpos hídricos no seio da malha urbana, influencia demasiadamente à geração de inundações (JOINVILLE, 2011).

Para evidenciar este problema, pode-se citar a situação atual da Bacia do Rio Cachoeira, principal bacia hidrográfica da região central da cidade, onde as áreas de várzea são quase que totalmente impermeabilizadas, com tráfego veicular significativo, principalmente as margens do principal rio da bacia, o rio Cachoeira, aumentando assim a frequência e o agravo das inundações (CAVION, 2014).

Segundo a PMJ (2011), por intermédio do PDDU, a mancha de inundação decorrente a bacia do Rio Cachoeira atinge principalmente as áreas de maior urbanização, e se a ocupação urbana continuar tendo avanço sem critérios de impermeabilizações do solo, as inundações aumentarão.

Na figura 1, é possível observar a mancha de inundação da bacia em questão, juntamente com a disposição desta na situação atual em que se encontra e em situação futura, com período de retorno de 50 anos.

Figura 1 – Mancha de Inundação da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira



Fonte: Joinville (2011, p. 11).

Considerando que a cidade possui quase todas as nascentes de seus rios dentro dos limites municipais, seu poder de gestão de recursos hídricos é amplo, porém, tal particularidade não é aproveitada como deveria (MAIA et al., 2013).

2.3 Métodos de Controle de Inundações

Conforme a Prefeitura Municipal de Joinville/PMJ (2011), as medidas de controle de inundações podem ser subdivididas em medidas estruturais e medidas não estruturais, sendo estas, “Medidas Estruturais, que consistem em obras e intervenções urbanas e Medidas Não-Estruturais, que consistem em ações preventivas e de convivência com o problema.” (p.13).

O enfoque isolado dos métodos de controle de inundações busca soluções técnicas que atendam um planejamento mais amplo, porém, as medidas de controle devem interagir entre si, não reduzindo o controle da drenagem a um receituário de medidas estruturais e não estruturais (SUDERHSA, 2002).

2.3.1 *Medidas Não Estruturais*

A aplicação de medidas não estruturais busca defender o melhor convívio da população com as inundações, podendo ser agrupadas em: zoneamento de áreas, seguros e alertas de inundações, entre outros (ANDRADE FILHO; SZÉLIGA; ENOMOTO, 2000).

Neste contexto, o zoneamento de áreas, consiste na definição de áreas conforme o risco e capacidade hidráulica de interferir nas cotas de cheia a montante e jusante, dependendo de características como escoamento, topografia, tipo de ocupação, entre outros fatores (TUCCI, 2009).

Os sistemas de alertas possuem a finalidade de prevenir, alertar e mitigar o problema, reduzindo o prejuízo da população em casos de inundações, tanto em aspectos financeiros quanto sociais, já que em alguns casos é necessário realizar a remoção da população e de animais (MÜLLER, 2011).

O emprego de seguros, como medidas de controle a inundações, mesmo que seja eficiente, é considerada uma medida de baixa aplicabilidade, devido ao seu alto custo, sendo que nestes casos opta-se por medidas substitutivas, como a

implantação da educação ambiental, alternativa esta, que pode ser implantada em todas as bacias, independente de seus aspectos. Vale ressaltar que estas medidas por si só, não são suficientes. (JOINVILLE, 2011).

Para auxiliar a população, a Defesa Civil de Joinville desenvolveu além de rotas seguras em casos de inundações, tábuas de marés, mostrando dias e horários que ocorrem maré alta, e recomendações para a população saber o que fazer em quando ocorre a inundação

2.3.2 *Medidas Estruturais*

As medidas estruturais representam interferências nas características do escoamento, sendo estas, responsáveis pelo direcionamento e controle do fluxo das águas pluviais, atribuindo novas estruturas e implantando obras que modificam o sistema natural para a retenção ou contenção do escoamento (SÃO PAULO, 2012).

Tais medidas podem ser divididas em medidas extensivas, agindo diretamente na bacia, através de reflorestamento e conservação do solo, ocorrendo modificações na relação entre precipitação e vazão, e medidas intensivas agindo no rio, como a construção de diques, alargamento de canais, entre outros, podendo nestas, ocorrer o desvio de escoamento, assim como seu amortecimento e/ou retardamento (HÜFFNER, 2013).

Tucci (1993) mostra exemplos destas medidas, assim como suas principais vantagens, desvantagem e aplicação (Tabela 1).

Dentre as medidas estruturais que permitem com que a população conviva com o regime sazonal dos rios estão os reservatórios de contenção de cheias, sendo estes, técnicas não convencionais de drenagem que armazenam os volumes escoados e reduzem o pico das cheias (SILVA, 2004).

Os reservatórios de contenção de cheias, por se tratarem do tema principal do presente trabalho, serão abordados com enfoque em seções posteriores.

Tabela 1 – Medidas Estruturais de Controle de Cheias

Medidas	Principal Vantagem	Principal desvantagem	Aplicação
Medidas Extensivas			
Cobertura Vegetal	Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
Controle de Perda	Reduz o Assoreamento	Idem ao anterior	Pequenas bacias
Medidas Intensivas			
Diques e polders	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso falhe	Grandes rios
Melhorias do canal:			
Redução da rugosidade por desobstrução	Aumento da Vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
Corte de Meandro	Amplia a área protegida e acelera o escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
Reservatórios:			
Todos os reservatórios	Controle a jusante	Localização difícil	Bacias intermediárias
Reservatórios com comporta	Mais eficiente com o mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos Múltiplos
Reservatórios para cheias	Operação com mínimo de perdas	Custo não compartilhado	Restrito ao controle de enchentes
Mudança de Canal:			
Caminho da cheia	Amortecimento do volume	Depende da topografia	Grandes Bacias
- Desvio	Reduz a vazão do canal principal	Idem ao anterior	Bacias médias e grandes

Fonte: Tucci (1993, p. 65).

2.3.2.1 Obras de Contenção de Cheias em Joinville

As obras de contenção de cheias podem ser constituídas por dois sistemas, microdrenagem, composta pelos pavimentos das ruas, sarjetas, bocas de loco, rede de galeria de águas pluviais, entre outros, e o sistema de macrodrenagem,

constituído por canais com dimensões maiores e projeções de períodos de retorno mais longos (SÃO PAULO/ESTADO, 2012).

Na cidade de Joinville, em especial nas áreas da bacia do rio Cachoeira e em seu entorno, o reflexo de posturas equivocadas quando se trata de ações e implementação de obras é nítido, seja por projetos mal elaborados, ou obras mal conduzidas (JOINVILLE, 2011).

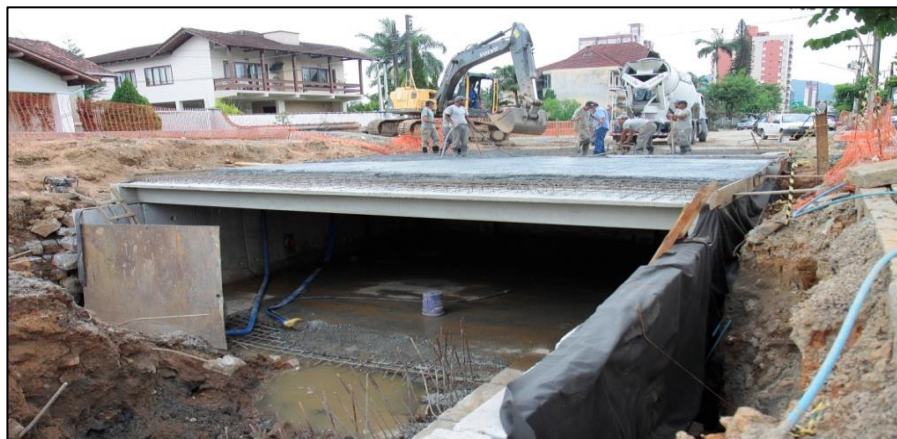
Em decorrência disto, a partir do PDDU, uma série de intervenções foi estudada para solucionar e/ou minimizar os problemas, e obras estão sendo/foram implantadas para reverter esta situação, dentre elas, pode-se citar as obras do Rio Morro Alto e a do Rio Mathias (JOINVILLE, 2011).

2.3.2.1.1 *Rio Morro Alto*

As obras do Rio Morro Alto (Figura 2) consistiu na reconstrução de cinco pontes, construção de duas galerias, desassoreamento do Rio Morro Alto e pavimentação e arborização da Rua Timbó, causando impactos positivos socioambientais e econômicos com resultados imediatos após a finalização (JOINVILLE, 2011).

Além do controle de inundações, através da drenagem, a obra apresenta impactos significativos para a mobilidade do município, uma vez que permite a implantação de um binário com a finalidade de melhorar a circulação na área central da cidade, facilitando o tráfego de leste-oeste (JOINVILLE, 2011).

Figura 2 – Obras na Bacia do Rio Morro Alto



Fonte: ANOTÍCIA (2012).

2.3.2.1.2 Rio Mathias

O Rio Mathias, localizado na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, encontra-se quase que totalmente canalizado, sendo um dos rios mais agredidos na região central da cidade, apresenta inundações causadas tanto pela chuva que é captada pelo rio, quanto pela variação da maré proveniente da Baía da Babitonga (JOINVILLE, 2011a).

Conforme Joinville (2011a), o Projeto Rio Mathias visa solucionar os problemas de inundações, construindo uma galeria de condução e conduto forçado, de 2.500 metros, para mitigar as cheias causadas pelas chuvas, e um muro de proteção, impedindo que as águas provenientes do Rio Cachoeira retornem ao Rio Mathias, juntamente com comportas flap, estações de bombeamento e galerias de retenção, para amortizar as cheias causadas pela variação de maré.

Na Figura 3 pode ser observada a disposição dos sistemas construtivos, assim como a localização destes em relação às principais ruas da cidade.

Figura 3 – Localização das Obras do Projeto Rio Mathias



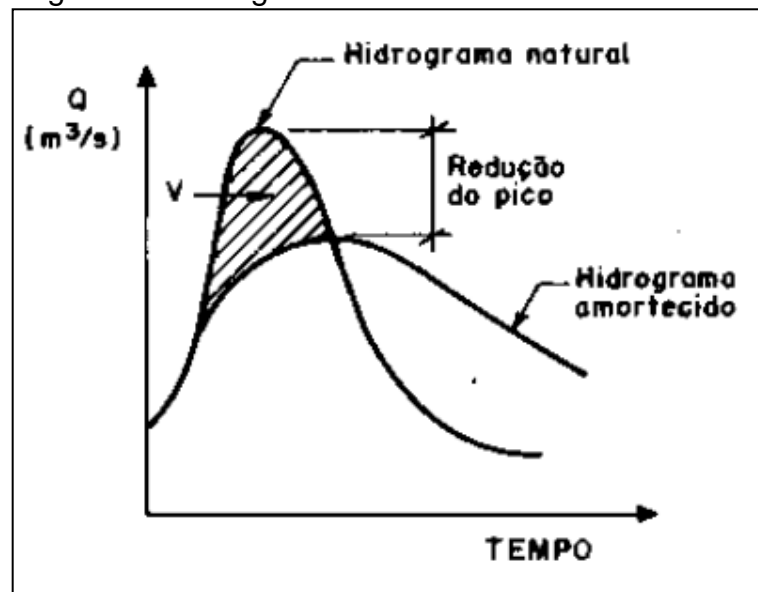
Fonte: Joinville (2011a, p.9).

2.4 Reservatórios de Contenção de Cheias

Os reservatórios de contenção de cheias podem ser considerados medidas não convencionais de drenagem urbana, sendo estes, soluções que se diferem dos conceitos tradicionais de canalização, com utilização ainda não disseminada no país (CANHOLI, 2014).

Neste contexto, os reservatórios são caracterizados pela utilização de controle da vazão máxima, volume e material sólido, dependendo do objetivo da construção do mesmo (PORTO ALEGRE, 2005). Em suma, a implantação destes, reduz o pico de escoamento e faz com que a vazão seja distribuída no tempo, como pode ser visto na Figura 4 (TASSI, 2002).

Figura 4 – Hidrograma de Amortecimento de Cheias



Fonte: Tucci (2009, p. 160).

Tais reservatórios podem ser desenvolvimentos em escalas de lote, quando a área em que será realizada a construção encontra-se loteada, e em escalas de microdrenagem e macrodrenagem, na qual se pode subdividi-los em reservatório de retenção, quando o mesmo é mantido com lâmina de água permanente e de detenção, onde é realizado o controle do volume, conservando o reservatório a seco (SUDERHSA, 2002).

Para exemplificar os reservatórios de contenção de cheias, pode-se citar a cidade de Curitiba (Figura 5), que através da Secretaria Municipal do Meio Ambiente

(SMMA), tomou ao longo dos anos uma série de medidas públicas e criou reservas verdes, no qual, lagos de alguns parques possuem o objetivo de conter naturalmente enchentes, funcionando como reguladores de vazão.

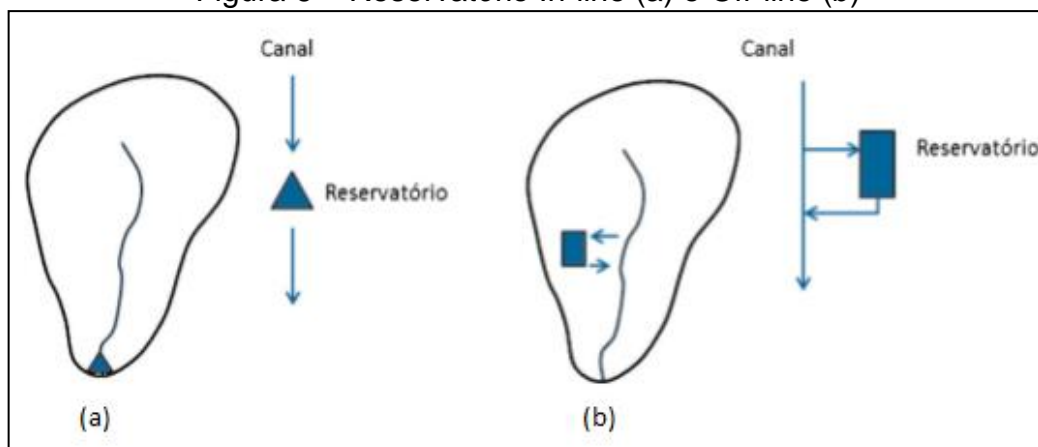
Figura 5 – Parque Barigui em Curitiba



Fonte: Agência Nacional de Águas (2013).

Conforme declarado no Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais (SÃO PAULO/ESTADO, 2012), os reservatórios podem ainda ser *in-line*, quando o mesmo é instalado interceptando transversalmente o canal e fazendo com que a vazão do rio atravessasse pelo seu interior e saia por uma estrutura de descarga, ou *off-line*, com a instalação lateralmente ao canal, desviando a vazão do rio para seu interior (Figura 6).

Figura 6 – Reservatório In-line (a) e Off-line (b)



Fonte: São Paulo/Capital (2012, p. 89).

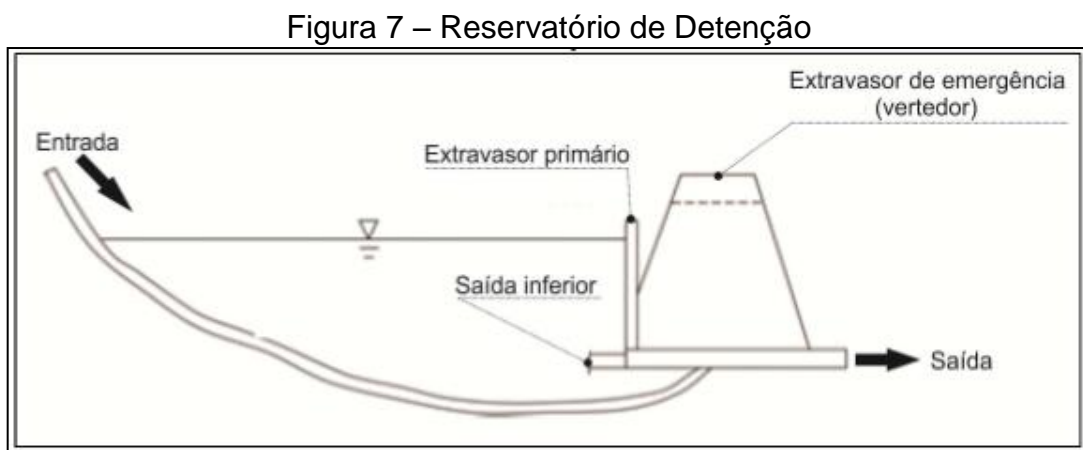
2.4.1 Reservatório de Detenção

Os reservatórios de retenção são obras que possibilitam controlar a vazão em um determinado trecho de canal, sendo este natural ou não, podendo permanecer vazios durante a maior parte do tempo e só armazenar a água durante a ocorrência de chuvas (SÃO PAULO/ESTADO, 2012).

De acordo com Hüffner (2013, p. 13), os reservatórios de retenção devem ser compostos, basicamente por:

- Estrutura de entrada: podem ser por gravidade, quando encontram-se acima da cota de armazenamento, ou por bombeamento;
- Corpo de armazenamento: responsável pela contenção dos volumes, podendo ser construído no próprio solo;
- Estrutura de descarga ou saída: controlam a vazão de saída, o nível da água no reservatório e o volume retido;
- Dispositivo de extravasão: elemento de segurança do sistema contra eventos de magnitudes maiores, podendo ou não estar acoplado às estruturas de saída.

Na Figura 7, pode ser observado um exemplo de reservatório de retenção e seus principais componentes.



Fonte: Maidment (1993) apud Hüffner (2013, p. 13).

Popularmente conhecidas como piscinões, estas obras são muito eficazes em cidades de grande porte com elevada taxa de impermeabilização do solo, já que apresentam rápido impacto positivo no controle de inundações e possuem custo relativamente baixo (CANHOLI, 2014).

3. ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do Rio Cachoeira encontra-se eminentemente urbana, comprometida pela intensa urbanização e crescimento do município de Joinville no decorrer dos anos (JOINVILLE, 2011).

Sua baixa altitude junto à foz, associada às precipitações pluviométricas e aos efeitos de maré, causam frequentes inundações na região central da cidade, ocasionando prejuízos a população afetada (Maia et al, 2013).

Neste capítulo são abordadas as características da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, incluindo sua localização, clima, pedologia, uso do solo e cobertura vegetal, assim como sua geologia e geomorfologia.

O Boletim Técnico do Levantamento da Cobertura Pedológica e da Aptidão Agrícola das Terras da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira (UBERTI, 2012) é assumido com referência principal para a elaboração deste capítulo.

3.1 Localização

A bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, localizada inteiramente no município de Joinville/SC (Figura 8), nas Coordenadas Geográficas correspondentes à Latitude 26°18' 16"S e Longitude 48°52'68"O, possui uma área de 82,63 km², representando assim 7,3% da área total do município (UBERTI, 2012).

Com extensão de 14,9 km, a bacia hidrográfica do Rio Cachoeira contém suas nascentes localizadas no bairro Costa e Silva, em área de topografia plana, e sua foz em área de estuário, sendo que sua vazão encontra-se entre 3 e 5 m³/s (UBERTI, 2011).

3.2 Clima

A bacia hidrográfica do Rio Cachoeira está inserida na classificação de Thomé et al. (1999), como Zona Agroecológica 1^a, com temperaturas entre 19,1 e

20,0°C, com variação das máximas entre 26,0 a 27,6°C e das mínimas de 15,4 a 16,8°C, sendo a região que apresenta as temperaturas médias mais altas do estado de Santa Catarina (UBERTI, 2012).

Figura 8 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira



Fonte: SEPLAN/SINGEO

O período de maior precipitação na área de estudo, segundo a Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI, 2002), concentra-se nos meses de janeiro a março, com um total de 200 a 300 mm, e o período de menor precipitação corresponde aos meses de julho a agosto, com total entre 90 e 100 mm.

Segundo Uberti (2012), com base na classificação de Köppen, a área possui clima subtropical constantemente úmido (Cfa), sem estação seca e com verão apresentando temperaturas médias acima de 22°C, caracterizando assim, um verão quente. A área ainda apresenta umidade relativa do ar em torno de 84,2 a 87,2%.

3.3 Pedologia

Conforme dados de Uberti (2012, p.22), a partir de análises das condições de drenagem interna dos solos presentes na área de estudo em questão, “constata-

se ocorrência de solos bem drenados, como Argissolos, solos imperfeitamente drenados, como Cambissolo Flúvico, e solos mal drenados como Gleissolos”.

Encontra-se também a presença de solos indiscriminados de mangue, caracterizados por serem alagados e localizados junto a desembocaduras dos rios, nas reentrâncias da costa e margens de lagoas, sofrendo a influência da maré (MULLER, 2012).

3.4 Uso do Solo e Cobertura Vegetal

Da área total que compõe a Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, 55% encontra-se impermeabilizada, concentrando-se em áreas de menor declividade, e conseqüentemente, as mais suscetíveis a inundações (MULLER, 2012).

Segundo Müller (2011), partindo de análises da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira, em relação ao uso e ocupação do solo, delimitação de bairros e áreas permeáveis e impermeáveis, pode-se concluir que há um predomínio de áreas residenciais e comerciais na bacia.

Devido a Bacia possuir quase que toda sua totalidade em área urbana, sua vegetação está descaracterizada, porém ainda podem ser encontradas áreas com restingas, de influência marinha, e pequenas áreas subtraídas naturalmente a outros ecossistemas, como por exemplo, a Formação Pioneira (UBERT, 2012).

3.5 Geologia e Geomorfologia

A bacia do Rio Cachoeira apresenta alternadas formas de relevo, sendo que áreas planas, suavemente onduladas a montanhosas encontram-se presentes, assim como a alternância de materiais de origem dos solos (UBERTI, 2012).

A área possui domínio morfológico litorâneo, com planícies litorâneas e aluvionares, assim como embasamento cristalino, representado pela Serra do Mar (SILVA & BORTOLUZZI, 1987).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia do presente trabalho possui aspectos quantitativos e para sua elaboração o capítulo foi dividido entre materiais e métodos, apresentando primeiramente os materiais cartográficos, de imagem, dados e a utilização de softwares, e em sequência os métodos de dimensionamento utilizados.

4.1 Materiais

Os materiais utilizados para a realização do trabalho são detalhados nos itens:

- Material Cartográfico e Ortofoto

Para realizar a delimitação da bacia, a partir do Modelo Numérico do Terreno (MNT) e determinação da rede de drenagem em escala 1:5.000 utilizaram-se as cartas topográficas digitais da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Sustentável (SDS), disponíveis em meio digital no Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas (SIMGeo).

Para a produção do mapa de uso e cobertura do solo da região, utilizou-se o software ArcGISI, adotando ORTOFOTO FOLHAS Orto-RGB_SG-22-Z-B-II-3-NO-B e Orto-RGB_SG-22-Z-B-II-3-NE-A da restituição Aerofotogramétrica de 2010.

Para a elaboração do mapa de solos, na escala 1:50.000, utilizou-se os dados disponíveis SIMGeo.

- Dados

O mapa de uso do solo é gerado pela imagem, com base nos dados de solo e uso da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, onde para o estudo definiram-se classes de uso de solo, sendo elas:

- a. Vegetação nativa: Áreas com Floresta Ombrófila Mista nos diferentes estágios de crescimento e de regeneração;
 - b. Área Urbana: Área com a presença de urbanização, sendo estas, zonas residenciais, comerciais ou industriais, de propriedade pública ou particular.
- Softwares
 - ✓ Plataforma ArcGIS 10.x Estudante Edition. Utilizando extensões como, ArcHydro Tools, v.4,0, Spatialanalyst v.1.1 e 3D Analyst V1.0;
 - ✓ Plataforma Office: Microsoft Word e Microsoft Excel;
 - ✓ Plataforma HEC-HMS 4.1;
 - ✓ Google Earth.

4.2 Métodos

O dimensionamento de um reservatório envolve, a determinação do volume total a ser armazenado, sendo este, de acordo com o tipo de controle desejado, a caracterização espacial do reservatório e o dimensionamento hidráulico dos dispositivos de saída (SUDERHSA, 2002).

Para a elaboração deste trabalho, utilizaram-se os métodos Soil Conservation Service – SCS, Müller – Neuhaus, além de parâmetros hidrológicos necessários no decorrer do estudo.

A utilização dos métodos em questão pode ser caracterizada como modelos hidrológicos, ou seja, ferramentas científicas que simulam o comportamento de uma bacia hidrográfica, auxiliando para uma melhor interpretação da mesma (MAIDMENT, 1993 apud MARTINS, 2012).

Para auxiliar na implantação do método, utilizou-se o software Hydrologic Engineering Center - Hec-Hms, desenvolvido para análises hidrológicas de águas superficiais e subterrâneas, além de estatísticas hidrológicas, gerenciamento de controle das águas, análise de sistema de reservatórios, entre outras (USACE - HEC, 2015).

4.2.1 Método SCS

O método Soil Conservation Service (SCS) além de ser um método consagrado, é um dos mais empregados em todo mundo, apresentando fácil utilização e parâmetros reduzidos, sendo realizada a relação direta entre estes parâmetros e as características da bacia, capaz de transformar precipitação total em vazão. (TUCCI, 2009).

A aplicação do método se dá a partir da aplicação das equações:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}$$

$$I_a = 0,2 \cdot S$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Onde:

P_e → Precipitação efetiva, em mm;

P → Precipitação total, em mm;

I_a → Perdas iniciais por retenção da bacia; em mm;

S → Máximo potencial de retenção da bacia após o início do escoamento superficial, em mm;

CN → Curva Número

Para determinação do parâmetro da Curva Número devem-se analisar fatores hidrológicos do solo, como por exemplo, o tipo do solo, condições de uso e ocupação do solo, entre outros (PORTO, 1995).

Segundo Tucci (2009), os grupos hidrológicos do solo são classificados em A, B, C e D, de acordo com suas taxas de infiltração mínima vistas abaixo:

- Grupo A – Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a uns 8%, não havendo rocha nem camadas argilosas, e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5 m. O teor de húmus é muito baixo, não atingindo 1%.
- Grupo B – Solos arenosos menos profundos que os do Grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras

roxas, esse limite pode subir a 20% graças à maior porosidade. Os dois teores de húmus podem subir, respectivamente, 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é, quase sempre, presente camada mais densificada que a camada superior.

- Grupo C – Solos barrentos com teor total de argila de 20 a 30%, mas sem camadas argilosas impermeáveis ou contendo pedras até profundidades de 1,2 m. No caso de terras roxas, esses dois limites máximos podem ser de 40% e 1,5 m. Nota-se a cerca de 60 cm de profundidade, camada mais densificada que no Grupo B, mas ainda longe das condições de impermeabilidade.

- Grupo D – Solos argilosos (30 – 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável, ou horizonte de seixos rolados. (PORTO, 1995).

- CONDIÇÃO I – Solos secos – As chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassaram 15 mm.

- CONDIÇÃO II – Situação média na época das cheias – As chuvas, nos últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40 mm.

- CONDIÇÃO III – Solo úmido (próximo da saturação) - As chuvas, nos últimos cinco dias, foram superiores a 40 mm, e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

Para a determinação do fator Curva Número, consulta-se a Tabela 2, para a condição II da cobertura e tipo hidrológico do solo.

A vazão de pico é definida pelo método SCS sendo:

$$Qp = 2,08 \cdot \frac{A}{ta}$$

Onde:

Qp → Vazão de pico, em m³/s;

A → Área da bacia, em Km²;

ta → tempo de ascensão, em h;

O tempo de ascensão vai do início da chuva até a vazão de pico do hidrograma, ou seja:

$$ta = 0,6 \cdot tc + D/2$$

Sendo:

tc → tempo de concentração, em h;

D → Duração da chuva unitária, em h;

Tabela 2 – Valores de CN em Função da Cobertura e Tipo Hidrológico de Solo

Tipos de uso do solo/Tratamento/Condições Hidrológicas		Grupo Hidrológico			
		A	B	C	D
Uso Residencial					
Tamanho Médio do Lote	% Impermeável				
até 500 m ²	65	77	85	90	92
1000 m ²	38	61	75	83	87
1500 m ²	30	57	72	81	86
Estacionamentos pavimentados, telhados		98	98	98	98
Ruas e estradas:					
pavimentadas, com guias e drenagem		98	98	98	98
com cascalho		76	85	89	91
de terra		72	82	87	89
Áreas comerciais (85% de impermeabilização)		89	92	94	95
Distritos industriais (70% de impermeabilização)		81	88	91	93
Espaços abertos, parques, jardins:					
boas condições, cobertura de grama > 75%		39	61	74	80
condições médias, cobertura de grama > 50%		49	69	79	84
Pasto	condições ruins				
	médias	68	79	86	89
	boas	49	69	79	84
curva de nível	condições ruins	39	61	74	80
	médias	47	67	81	88
	boas	25	59	75	83
Campos	condições boas	6	35	70	79
Florestas	condições ruins	30	58	71	78
	médias	45	66	77	83
	boas	36	60	73	79
		25	55	70	77

Fonte: PORTO (1995)

4.2.2 Modelagem hidrológica – HEC-HMS

Para a simulação modelagem da bacia hidrográfica em estudo utilizou-se o software Hydrologic Modeling System - HEC-HMS, simulando a chuva-vazão através de parâmetros estipulados e precipitações estabelecidas para diferentes períodos de retorno.

O sistema de modelação é aplicável a uma vasta variedade de zonas geográficas, auxiliando na solução de problemas hidrológicos, de inundações, de abastecimento de água, entre outros (USACE-HEC, 2015).

Através deste, é possível gerar simulações sobre o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, sendo requerido a entrada de dados da bacia

em análise, assim como dados meteorológicos da região, podendo-se optar por diversos métodos de análise que o software dispõe, como por exemplo, processos distintos de cálculo de perdas (TAVARES & CASTRO, 2005).

Uma das limitantes que o modelo apresenta é a simplificação do escoamento e dos parâmetros utilizados, onde para assegurar um menor tempo na análise do procedimento, assume-se que as condições limite, iniciais e os parâmetros são sempre iguais, o que reduz a precisão dos cálculos gerados, além de não realizar interações para elementos a montante, não conhecendo assim as condições a jusante que irão influenciar no regime do escoamento (COELHO, 2010).

Segundo Tucci (2005), o uso de modelos hidrológicos é essencial para a melhor compreensão dos fenômenos hidrológicos, podendo assim, realizar um estudo das sensibilidades de cada bacia, dimensionando e prevendo cenários futuros, e por consequência destes fatores, planejando melhores alternativas de desenvolvimento.

4.2.3 Método de Müller – Neuhaus

O método de Müller – Neuhaus apresenta um procedimento básico para o cálculo do volume para reservatórios de detenção (Wilken 1978), sendo este representado pela equação:

$$V = Q_p \cdot t_c \cdot k$$

Onde:

V: Volume do reservatório, em m³;

Q_p : Vazão de pico, em m³/s

k: Fator de volume

O fator de volume é dado por:

$$k = \log \frac{1}{\varepsilon}$$

$$\varepsilon = Q_e / Q_p$$

Sendo:

Q_e : Vazão efluente, em m^3/s ;

ε : razão entre Q_e e Q_p .

A vazão de pico é corresponde à vazão calculada pelo Método SCS, descrito anteriormente, e a vazão efluente é caracterizada como a vazão de saída do reservatório.

5. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo são apresentados tópicos referentes ao estudo realizado, iniciando com a demilitação da bacia em estudo, assim como suas sub-bacias, localizações propostas para implantação dos reservatórios e outros parâmetros necessários para realizar a determinação da vazão de pico da situação atual e nos períodos de retorno estudado. Também são caracterizados os componentes que formam a estrutura de saída dos reservatórios, sendo estes, primordiais para definição da vazão efluente, ou seja, a vazão de saída do reservatório.

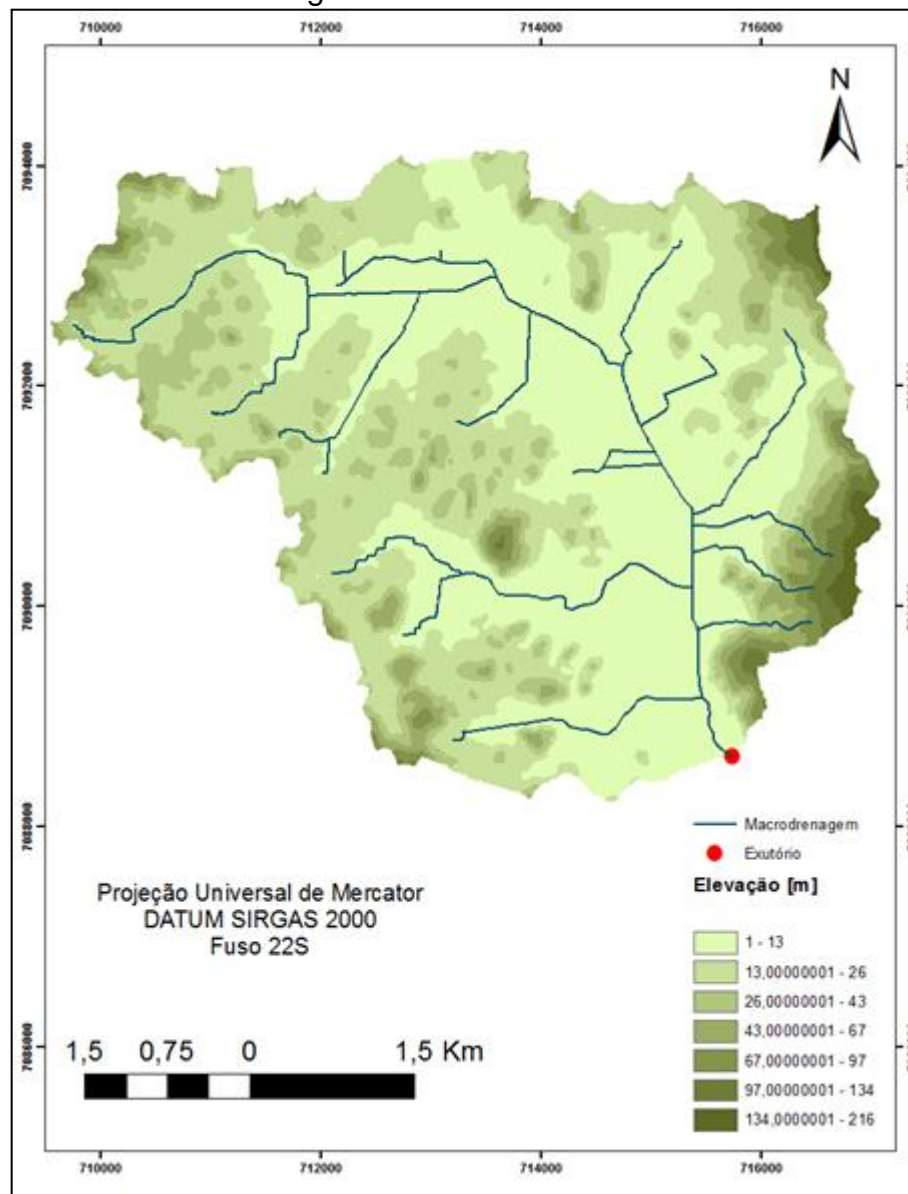
5.1 Delimitação da Bacia Hidrográfica

Para a delimitação da bacia hidrográfica e determinação da rede de drenagem, utilizou-se o Modelo Numérico do Terreno (MNT), juntamente com as Curvas de níveis, em escala 1:5000, fornecidas pelo Sistema de Informações Municipais Georreferenciadas, disponibilizadas pela Prefeitura Municipal de Joinville.

Para a escolha do exutório optou-se por um ponto crítico de inundação da região central de Joinville, escolhendo assim a região próxima à Rua Cachoeira, localizada entre as Ruas Aubé e Santos, junto ao Mercado Público Municipal.

Com o auxílio do software de Sistema de Informação Georreferenciada (SIG), ArcGis 10.4 e da extensão ArcHydro, delimitou-se a bacia hidrográfica, unidade de planejamento e gestão de recursos hídricos, podendo esta ser visualizada na Figura 9.

Figura 9 – Área de Estudo

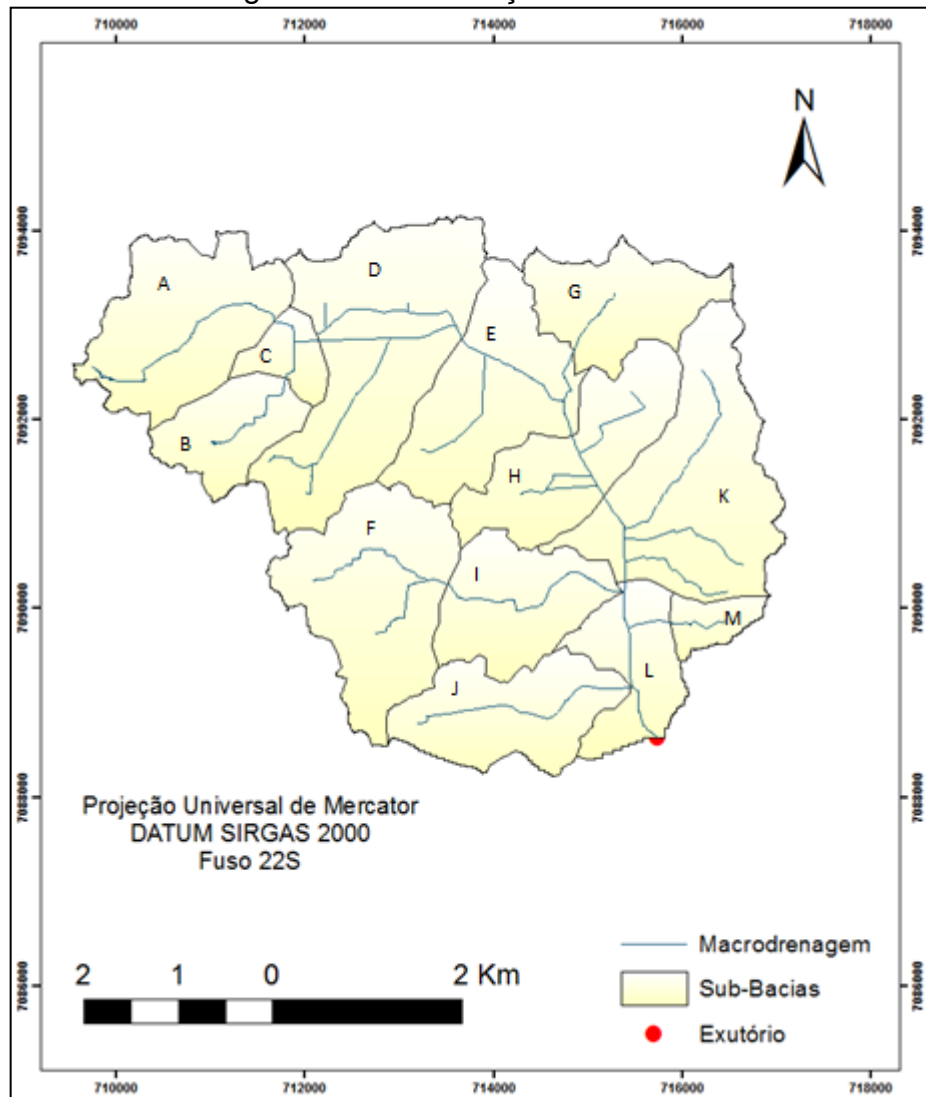


Fonte: Autora (2016).

5.2 Delimitações das Sub-Bacias

De maneira semelhante à delimitação da bacia hidrográfica, as sub-bacias foram delimitadas (Figura 10), sendo sua localização estrategicamente determinada em relação aos possíveis pontos para implantação dos reservatórios, respeitando as normativas para realização do dimensionamento, assim como a disponibilidade de áreas livres para viabilização do empreendimento.

Figura 10 – Delimitação Sub-Bacias



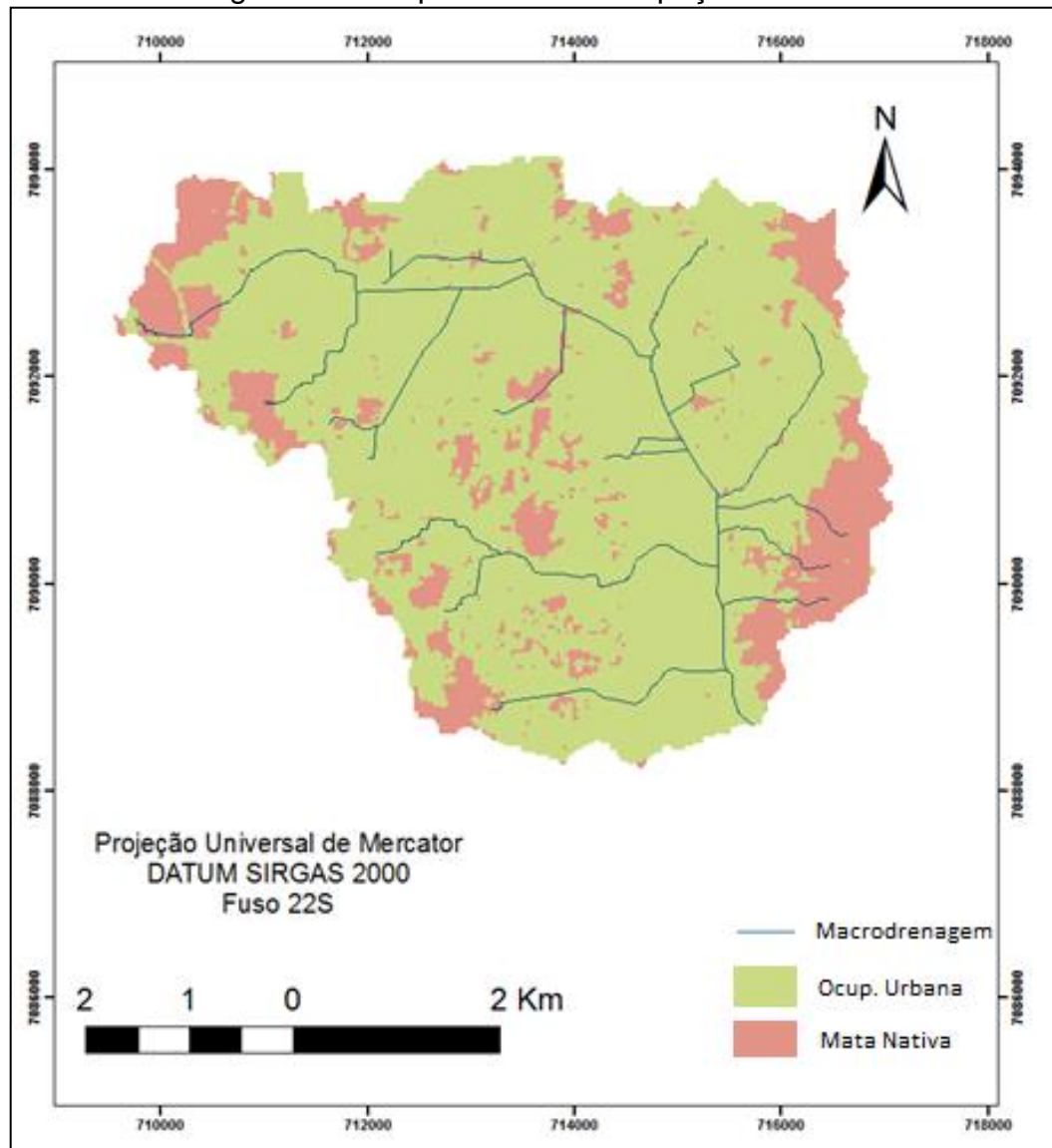
Fonte: Autora (2016).

5.3 Uso e ocupação do solo

Para a determinação do uso e ocupação do solo utilizou-se as Imagens do satélite LANDSAT-8, e com o auxílio do software ArcGIS, classificou-se a região estudada em duas categorias, a primeira como áreas de ocupação urbana e a segunda como áreas de vegetação nativa (Figura 11).

Na Tabela 3, é possível observar a porcentagem de área urbana e vegetação nativa calculada para cada sub-bacia.

Figura 11 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo



Fonte: Autora (2016).

Nota-se que a bacia hidrográfica em estudo apresenta-se predominantemente urbana, sendo que 78,47% da área total encontra-se urbanizada, e apenas 21,53% do total correspondem à mata nativa, sendo um dos fatores de grande influência para a ocorrência de alagamentos na região.

Tabela 3 – Área de Ocupação Urbana e Mata Nativa

ÁREAS (OCUPAÇÃO URBANA x MATA NATIVA)				
Sub-Bacias	A urb. [10⁶ m²]	A mata [10⁶ m²]	% urb.	% mata
A	178,47	104,75	63,0	37,0
B	3,84	123,69	3,0	97,0
C	56,29	1,24	97,9	2,1
D	412,69	29,79	93,3	6,7
E	242,28	36,75	86,8	13,2
F	256,51	68,06	79,0	21,0
G	152,35	28,09	84,4	15,6
H	228,81	11,39	95,3	4,7
I	179,71	19,01	90,4	9,6
J	191,23	22,36	89,5	10,5
K	265,10	121,27	68,6	31,4
L	117,32	26,26	81,7	18,3
M	7,92	36,43	17,9	82,1

Fonte: Autora (2016).

5.4 Classificações do Solo

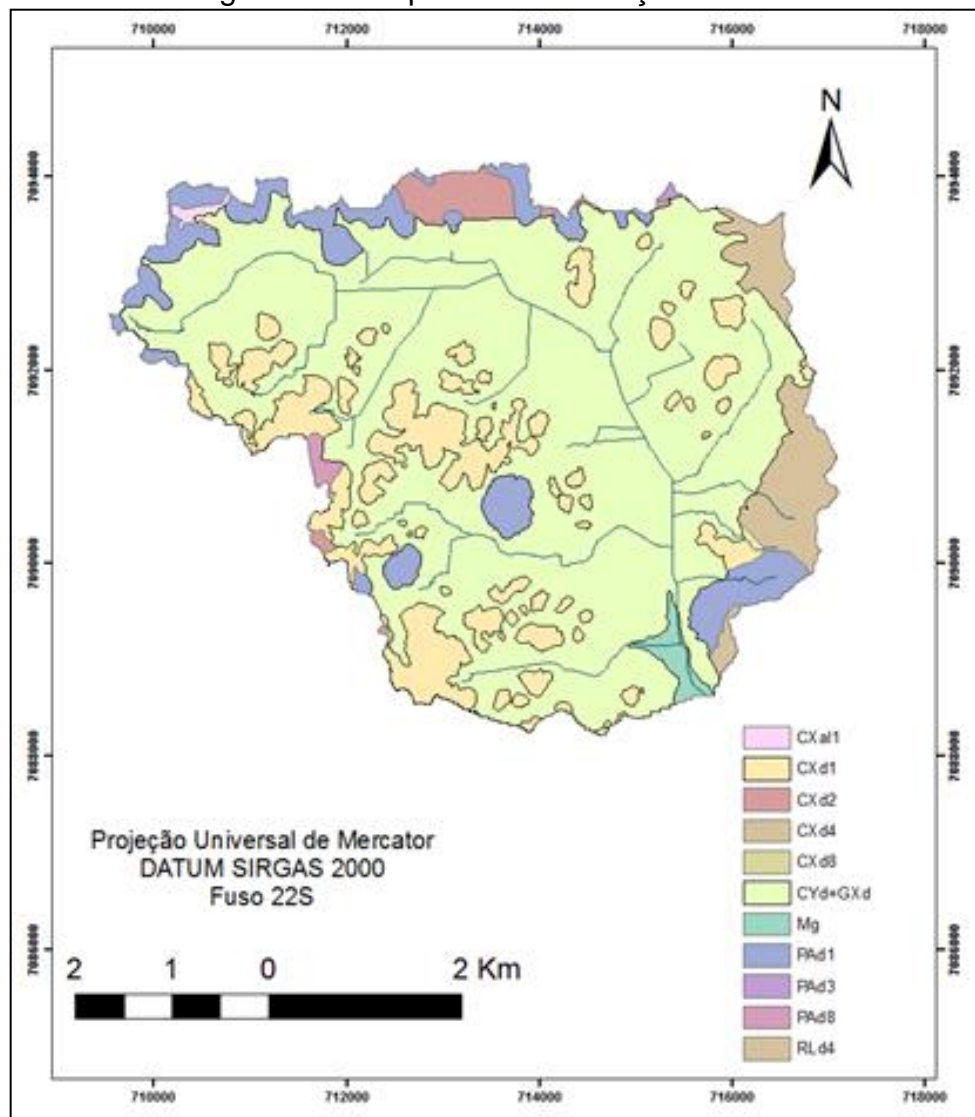
Quanto aos tipos de solos predominantes em cada sub-bacia, utilizou-se os mapas presentes no Boletim Técnico do Rio Cachoeira (2011), sobrepondo o limite da bacia hidrográfica traçada e gerando o mapa de classificação do solo (Figura 12).

Os tipos de solos presentes na bacia hidrográfica são convencionados por siglas, sendo estas:

- CXa1: Terras com aptidão regular para sicultura - CAMBISSOLO HÁPLICO – Alítico gleissólico, horizonte A moderado, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo suavemente ondulado, substrato gnaisse;
- CXd1: Terras sem aptidão agrícola – CAMBISSOLO HÁPLICO – Distrófico típico, horizonte A moderado, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo ondulado, substrato gnaisse;
- CXd2: Terras com aptidão boa para plantas de lavoura no sistema de manejo avançado e intermediário e aptidão regular no sistema de manejo rudimentar - CAMBISSOLO HÁPLICO – Distrófico típico, horizonte A moderado, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo plano/suavemente ondulado, substrato sedimentos argilosos do período Quaternário;

- CXd4: Terras sem aptidão agrícola – CAMBISSOLO HÁPLICO – Distrófico típico, horizonte A moderado, textura argilossiltosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo plano/suavemente ondulado, substrato sedimentos do período Quaternário;
- CXd8: Terras com aptidão regular para plantas com lavoura no sistema de manejo intermediário e sistema de manejo avançado - CAMBISSOLO HÁPLICO – Distrófico típico, horizonte A proeminente, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Mista, relevo ondulado, substrato gnaisse;
- CYd+CX: Terras sem aptidão agrícola – CAMBISSOLO FLÚVICO – distrófico gleissólico, horizonte A proeminente, textura argilosa + GLEISSOLO HÁPLICO – Distrófico típico, horizonte A moderado, textura argilosa, fase floresta Ombrófila densa, relevo plano, substrato sedimentos do período Quaternário;
- Mg: Terras sem aptidão agrícola, Manguezal;
- PAd1: Terras com aptidão agrícola para silvicultura – ARGISSOLO AMARELO – Distrófico típico, horizonte A moderado, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila Densa, relevo fortemente ondulado, substrato gnaisse;
- PAd3: Terras com aptidão regular para silvicultura e pastagem natural - ARGISSOLO AMARELO – Distrófico típico, horizonte A moderado, textura argilosa, fase Floresta Ombrófila mista, relevo fortemente ondulado, substrato gnaisse;
- PAd8: Terras com aptidão regular para plantas de lavoura no sistema de manejo avançado e aptidão restrita para o sistema de manejo intermediário;
- RLd4: Terras sem aptidão agrícola.

Figura 12 – Mapa de Classificação do Solo



Fonte: Modificado de UBERT (2012).

Ainda sobre os tipos de solos, Tucci (2009) classifica-os em quatro grupos hidrológicos, sendo eles:

- Grupo A: Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração e/ou solos arenosos profundos com pouco silte e argila;
- Grupo B: Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundo do que o tipo A e com permeabilidade superior à média;
- Grupo C: Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo percentagem considerável de argila e pouco profundo;
- Grupo D: Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Após análise do mapa de classificação do solo e os grupos classificados por Tucci (2012), identificou-se os tipos de solos predominantes de cada sub-bacia, e o grupo ao qual cada um deles pertence (Tabela 4), evidenciando-se o predomínio de solos do Grupo C.

Tabela 4 – Solos Predominantes

Sub-bacias	Solo Predominante		Grupo
	Sigla	(%)	
Sub-bacia A	CYd + CX	68,19	C
Sub-bacia B	CYd + CX	59,65	C
Sub-bacia C	CYd + CX	92,7	C
Sub-bacia D	CYd + CX	63,15	C
Sub-bacia E	CYd + CX	81,61	C
Sub-bacia F	CYd + CX	56,62	C
Sub-bacia G	CYd + CX	75,44	C
Sub-bacia H	CYd + CX	85,73	C
Sub-bacia I	CYd + CX	83,37	C
Sub-bacia J	CYd + CX	74	C
Sub-bacia K	CYd + CX	61,28	C
Sub-bacia L	CYd + CX	64,47	C
Sub-bacia M	PAd1	76	D

Fonte: Autora (2016).

5.5 Parâmetros hidrológicos

Dentre os parâmetros hidrológicos estabelecidos para a realização do estudo da bacia, destacam-se o tempo de concentração e o parâmetro Curve Number – CN, ambos estipulados para cada sub-bacia, além dos índices de precipitação para cada período de retorno definido.

- Tempo de Concentração

O tempo de concentração foi calculado por três métodos distintos, indicados para as sub-bacias em questão, a fim de realizar a análise entre estes, e posteriormente, a determinação do tempo de concentração final.

➤ Fórmula de PASINI

$$T_c = \frac{0,107 \sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{I}}$$

Onde:

Tc : Tempo de concentração, em horas;

L: Comprimento do curso d' água, em km;

I: Declividade, em m/m;

A: Área da bacia, em km².

➤ Fórmula do DNOS

$$T_c = \frac{10}{K} \cdot \frac{A^{0,3} \cdot L^{0,2}}{I^{0,4}}$$

Onde:

Tc: Tempo de concentração, em min;

A: Área da bacia, em ha;

L: Comprimento do Curso d' água, em m;

I: Declividade, em %;

K: depende das características da bacia.

Foram adotados dois números correspondentes ao parâmetro K, sendo K=3,0, correspondendo ao terreno comum, com cobertura e vegetação e absorção apreciável, e K=5,5, onde o terreno apresenta-se rochoso, com vegetação rala e reduzida absorção (DNIT, 2005).

➤ Fórmula de KIRPICH

$$T_c = 0,95 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Onde:

Tc: Tempo de concentração, em horas;

L: Comprimento do curso d'água, em km;

H: Desnível máximo, em m.

Após a análise do tempo de concentração de cada bacia, fez-se a comparação entre os três métodos e sua média, utilizando para análise o tempo de redução a partir da média obtida, sendo que este consiste na utilização de 60% do tempo de concentração encontrado.

A utilização do tempo de redução é decorrente da utilização do mesmo no método SCS para obtenção da vazão de pico.

Na Tabela 5 é possível visualizar o tempo de concentração obtido para cada sub-bacia.

Tabela 5 – Tempo de Concentração

Tempo de Concentração [min]					
Sub-bacias	Tc -Rossi	Tc - DNOS	Tc - Kirpich M.	Tc Médio	Tr
Sub-bacia A	69,74	64,35	102,85	78,98	47,39
Sub-bacia B	63,84	61,14	81,66	68,88	41,33
Sub-bacia C	59,47	54,47	67,85	60,60	36,36
Sub-bacia D	69,04	93,24	61,86	74,71	44,83
Sub-bacia E	82,74	136,92	160,70	126,79	76,07
Sub-bacia F	57,72	67,68	68,05	64,48	38,69
Sub-bacia G	52,62	54,15	49,32	52,03	31,22
Sub-bacia H	61,74	92,03	74,84	76,20	45,72
Sub-bacia I	85,83	115,55	176,82	126,07	75,64
Sub-bacia J	67,80	58,69	95,54	74,01	44,40
Sub-bacia K	68,85	113,46	91,28	91,20	54,72
Sub-bacia L	93,03	131,50	218,19	147,57	88,54
Sub-bacia M	31,15	16,61	12,55	20,10	37,80

Fonte: Autora (2016).

- Curve Number - CN

Para obtenção do CN de cada sub-bacia foram analisados os mapas de uso e ocupação dos solos, assim como o mapa de classificação do solo e seus grupos hidrológicos. Após a comparação com a Tabela 3, adotaram-se os seguintes valores de CN:

➤ Grupo Hidrológico C

CN: 83 para áreas urbanas;

CN: 70 para mata nativa.

➤ Grupo Hidrológico D

CN: 87 para áreas urbanas;

CN: 77 para mata nativa.

A obtenção do CN final para cada sub-bacia pode ser visualizada na Tabela 6, onde a mesma foi obtida calculando o percentual de áreas de cada sub-bacia correspondente ao uso e ocupação do solo.

Tabela 6 – Valores de CN

Número de Curva	
Sub-bacias	CN
A	78,19
B	70,39
C	82,74
D	82,09
E	81,31
F	80,27
G	80,92
H	82,35
I	81,7
J	81,7
K	78,97
L	80,66
M	78,8

Fonte: Autora (2016).

- Precipitação

A precipitação utilizada para os cálculos foi obtida no Manual de Drenagem do Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, desenvolvido pela PMJ (2011), onde os dados dos totais precipitados máximos

foram realizados para diversas durações e períodos de retorno, e obtidos no Posto Pluviométrico da Estação Ferroviária de Joinville – RVPSC (2648014).

A análise foi realizada para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos, conforme recomendações do próprio manual de drenagem, e para durações de 10min, sendo que os valores obtidos podem ser visualizados na Tabela 14.

5.6 Reservatórios

- Localização

A escolha dos locais para implementação dos reservatórios foi realizada a partir da restituição aerofotogramétrica de 2010, disponibilizada pelo SimGEO, onde optou-se pela escolha de áreas, preferencialmente, públicas, como por exemplos praças e parques, relativamente próximas ao canal em estudo.

Inicialmente escolheu uma área para implantação de um reservatório, denominado Reservatório 01, próxima ao exutório da bacia hidrográfica em estudo.

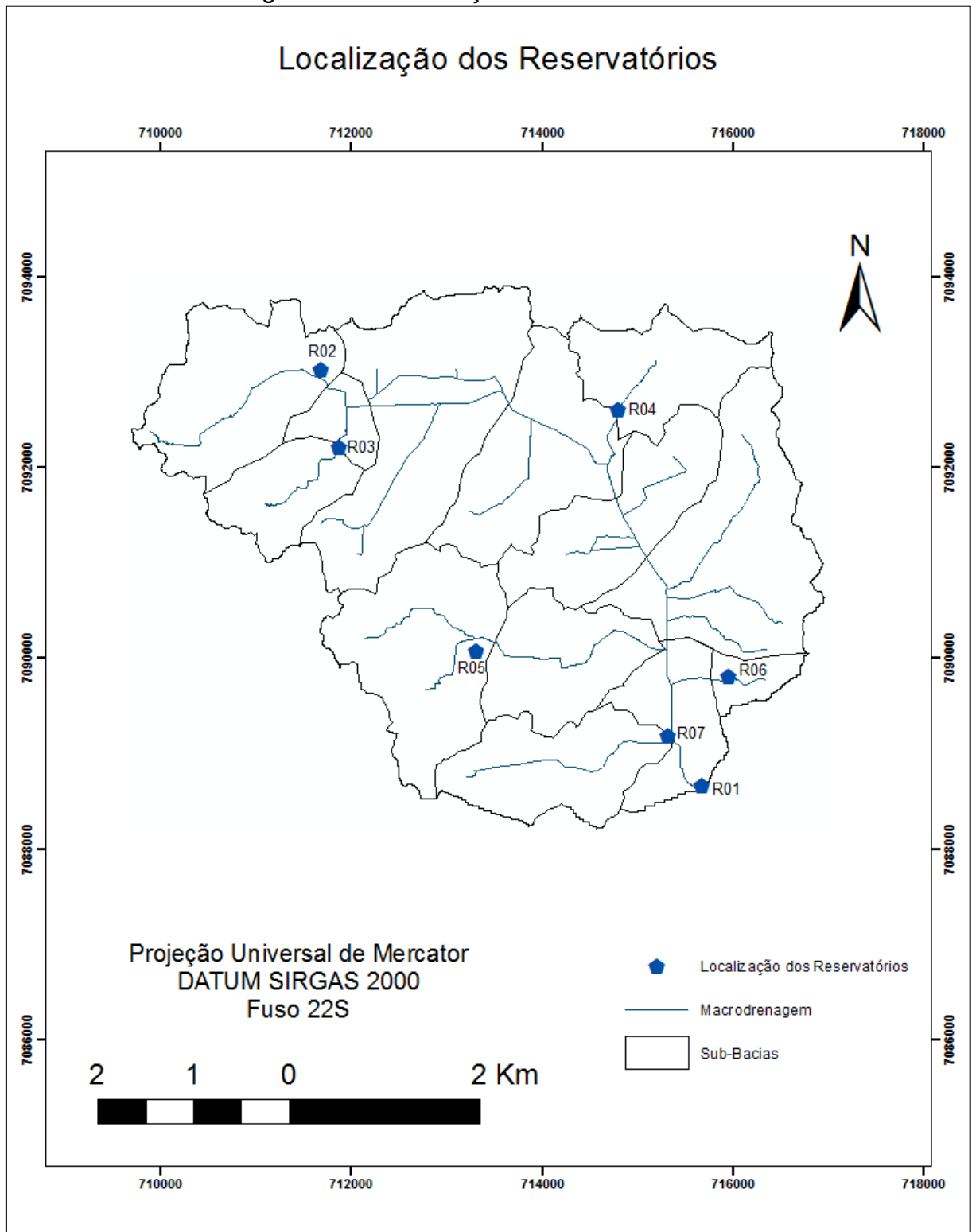
Em contrapartida, sugeriram-se outras seis áreas para implantação de seis reservatórios múltiplos, a fim de diminuir a vazão de entrada no Reservatório 01, além de minimizar as inundações locais nestas regiões.

Os reservatórios possuem como estruturas de saída, orifícios e vertedores, que possuem o papel de extravasar a água armazenada no interior do mesmo.

Na Figura 13 encontram-se representados os pontos das áreas selecionadas para cada reservatório na bacia delimitada, e na Figura 14 podem-se observar os locais propostos para implantação dos reservatórios, através das ortofotos.

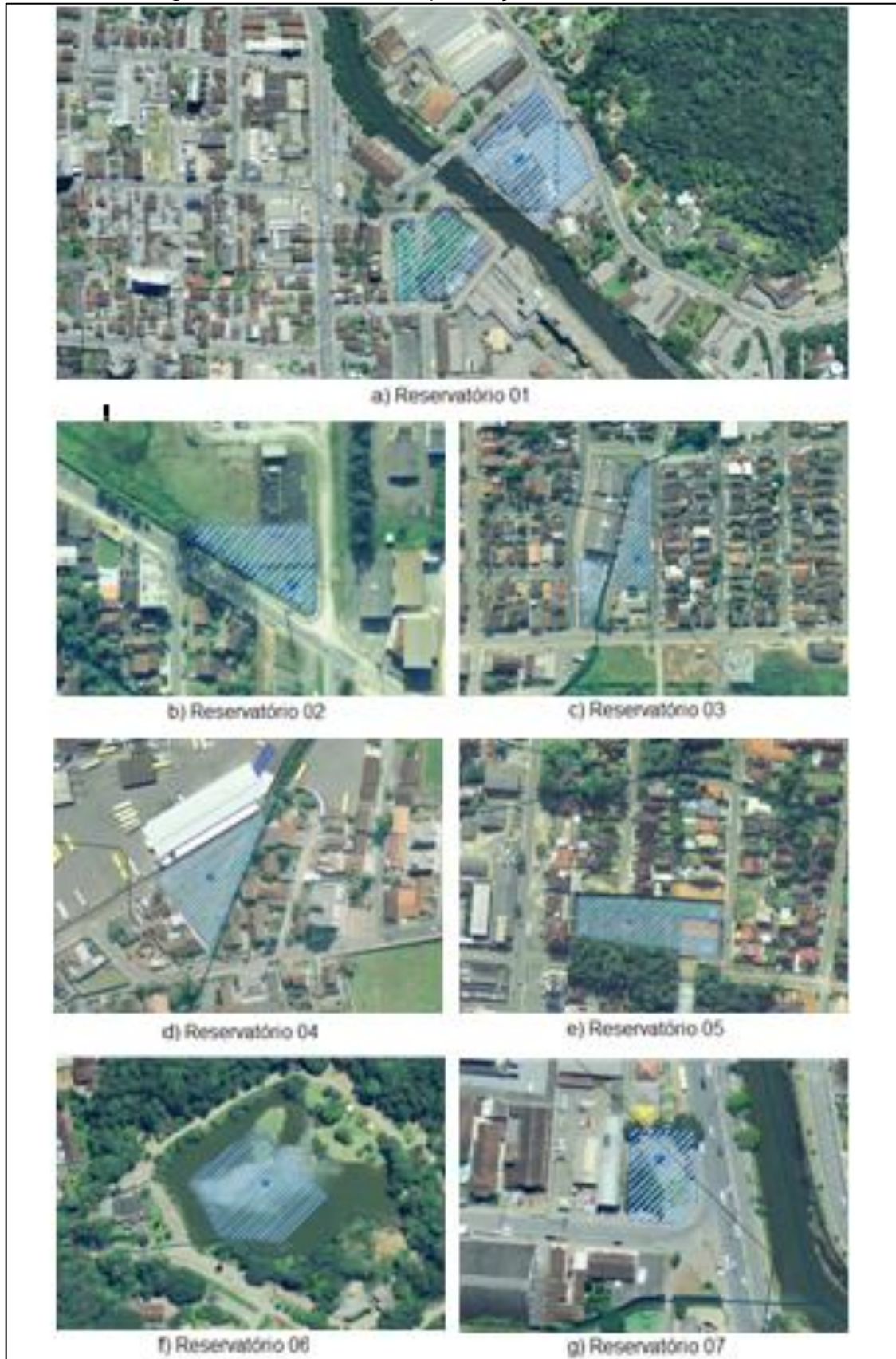
As coordenadas geográficas de cada um deles, assim como a área selecionada para implantação, elevação e capacidade de armazenamento podem ser visualizadas na Tabela 7.

Figura 13 – Localização dos Reservatórios



Fonte: Autora (2016).

Figura 14 – Locais de Implantação dos Reservatórios



Fonte: Autora (2016).

Tabela 7 – Capacidade de Armazenamento

Reservatórios	Localização		Área [m ²]	Altura [m]	Volume [m ³]
	Coord. Métricas				
Reservatório 02 (Sub-bacia A)	711611, 182	7083227, 611	2092,48	5,00	10.462,4
Reservatório 03 (Sub-bacia B)	711806, 946	7092390, 186	3407,45	5,00	17.037,25
Reservatório 04 (Sub-bacia G)	714854, 242	7092395239	2277,96	5,00	11.389,8
Reservatório 05 (Sub-bacia F)	713299, 622	7090176, 439	5433,55	5,00	27.167,75
Reservatório 06 (Sub-bacia M)	716051, 294	7089890, 688	4147,42	3,00	12.442,26
Reservatório 07 (Sub-bacia J)	715384, 543	7089266, 271	1210,11	5,00	6.050,55
Reservatório 01	715773, 969	7088689,73	20660,15	5,00	103.300,75

Fonte: Autora (2016).

Para o dimensionamento das estruturas de saída dos reservatórios, contendo orifício e vertedor, adotou-se a formulas recomendadas por Canholi (2014).

$$Q = Cd \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

Onde:

Q: Vazão do orifício, em m³/s

H: Altura da lâmina de água acima do centro do orifício, em m;

Cd: Coeficiente de descarga do orifício (Adotado 0,6)

g : Aceleração da gravidade (Adotado 9,81m/s²);

A : Área da seção transversal do orifício, em m².

$$Q = \frac{2}{3} \cdot Cd \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot L \cdot h^{3/2}$$

Sendo:

Q: Vazão do vertedor, em m³/s

h: Altura da lâmina de água acima do centro do orifício, em m;

Cd: Coeficiente de vazão (Adotado 0,6)

g: Aceleração da gravidade (Adotado 9,81m/s²);

L: Largura da soleira, em m.

Na Tabela 8 podem ser visualizadas as dimensões adotadas para cada orifício e vertedor presente nos reservatórios.

Tabela 8 – Dimensões da Estrutura de Saída

Estrutura de Saída do Reservatório				
Reservatório	Orifício		Vertedor	
	Base [m]	Altura [m]	Soleira [m]	Altura [m]
R02	1,0	0,5	1,5	1,0
R03	0,5	0,5	0,8	0,5
R04	1,5	0,5	1,0	1,0
R05	1,5	0,5	2,5	1,0
R06	0,3	0,5	0,5	0,5
R07	1,0	0,5	1,8	1,0

Fonte: Autora (2016).

A partir da definição destes dados, torna-se possível o cálculo da vazão de saída da água armazenada no reservatório.

Na tabela 9 encontra-se a relação Vazão x Elevação, podendo a partir desta, realizar a análise da maneira com que a vazão de saída se comporta em relação ao nível de água no reservatório.

Tabela 9 – Vazão de Saída

Elevação [m]	Vazão de Saída [m ³ /s]					
	R02	R03	R04	R05	R06	R07
1,0	1,15	0,58	1,73	1,73	0,29	1,15
1,5	1,49	0,74	2,23	2,23	0,37	1,49
2,0	1,76	0,88	2,64	2,64	0,44	1,76
2,5	1,99	1,00	2,99	2,99	0,50	1,99
3,0	2,20	1,10	3,31	3,31	0,86	2,20
3,5	2,40	1,20	3,59	3,59		2,40
4,0	2,57	1,29	3,86	3,86		2,57
4,5	3,68	1,37	4,74	5,68		3,84
5,0	5,55	1,92	6,12	8,77		6,00

Fonte: Autora (2016).

6. RESULTADOS

Após a elaboração dos cálculos e resolução dos métodos propostos, foram obtidos os valores de vazão para cada sub-bacia propostos para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos, conforme recomendações do Manual de Drenagem Urbana da cidade de Joinville (2011).

A situação atual para o caso proposto é apresentada, assim como a verificação da funcionalidade da implantação dos reservatórios projetados, verificando se a área disponível de cada reservatório é suficiente para atender a necessidade da região para os diferentes períodos de retorno, minimizando e/ou eliminando as manchas de inundações no entorno.

A apresentação dos resultados se dá inicialmente com a análise da bacia hidrográfica como um todo, e posteriormente, faz-se a análise nas sub-bacias independentes.

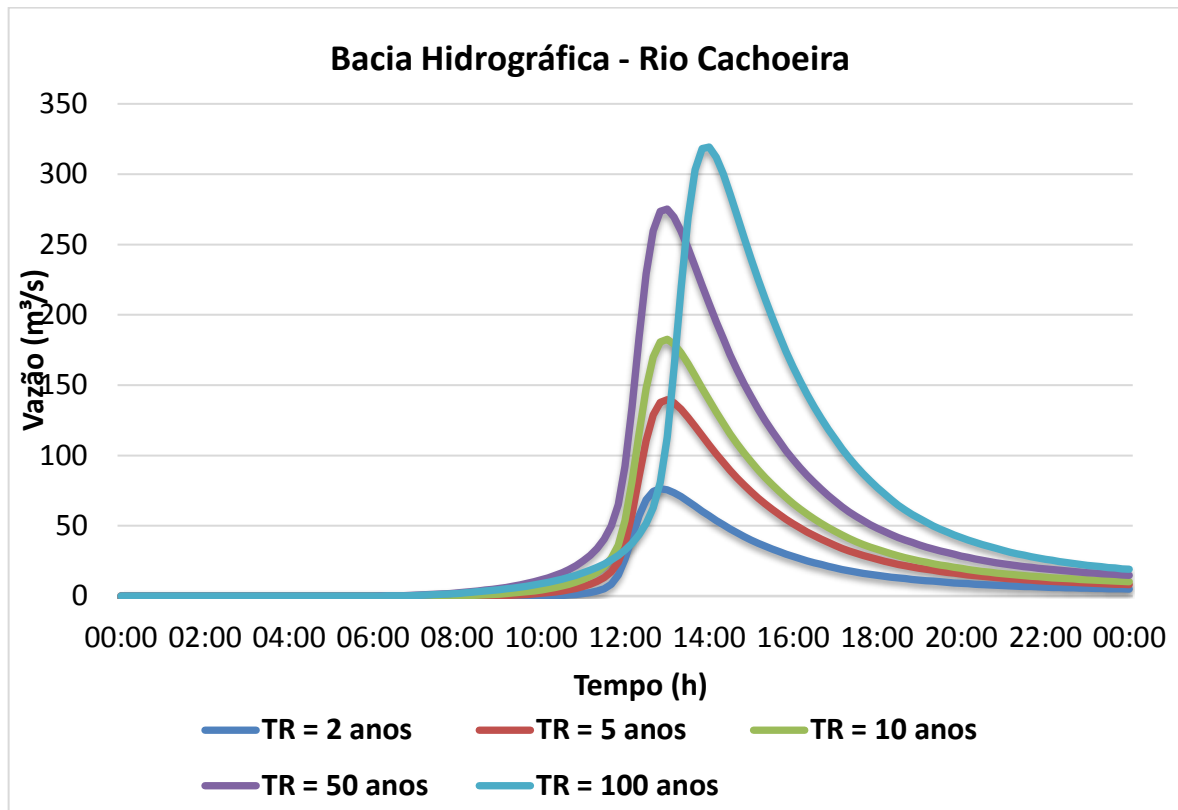
- Reservatório 01

Após a delimitação e análise da bacia hidrográfica, realizou-se a simulação da mesma para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos, na qual tornou-se possível obter os valores referente a vazão gerada pela bacia, conforme a duração da precipitação (Hidrograma 1), assim como a relação desta com o escoamento superficial (Tabela 8).

A escolha da localização do Reservatório 01 deu-se principalmente devido a proposta de implantação da biblioteca pública de Joinville no local, onde Goularte (2011) propõe o uso do terreno, o qual atualmente encontra-se instalada uma fábrica de parafusos e porcas. Neste local está previsto a implantação do projeto que representaria a oportunidade de fornecer a população um ambiente integrador, reestruturando o espaço público, promovendo acessibilidade, lazer, cultura e educação.

Pretende-se interligar os dois projetos, aumentando os benefícios gerados à população, tanto por questões sociais, quanto econômicas e de segurança.

Hidrograma 1 – Bacia Hidrográfica



Fonte: Autora (2016).

Tabela 10 – Vazão e Volume para diferentes Períodos de Retorno

Período de Retorno	2 anos	5 anos	10 anos	50 anos	100 anos
Vazão [m ³ /s]	76,3	139,6	182,6	275,2	319,3
Volume [10 ³ m ³]	1114,3	2011,9	2635,4	4019,5	4635,7

Fonte: Autora (2016).

Além da área escolhida para implantação do Reservatório 01 ser relativamente grande, 20.660,15 m², quando se analisa o volume gerado pela mesma e compara-se com os volumes encontrados a partir simulação, pode-se observar que a área não é suficiente para amortecer significativamente o pico de cheia gerado em nenhum dos períodos de retorno analisados.

O volume que o reservatório possuiria, 103.300,75m³, armazenaria em média apenas 9,30% do volume escoado pela bacia no período de retorno de 2

anos, por exemplo, sendo que o mesmo percentual decresce conforme se analisa a situação em anos posteriores.

Em decorrência disto, comprova-se que só um reservatório de grandes dimensões está longe de satisfazer a situação atual de urbanização em que a cidade encontra-se, ocorrendo à necessidade de realizar outras intervenções que em conjunto desta, minimizem as inundações geradas na bacia, sejam elas a implantação de mais reservatórios ao longo da bacia hidrográfica ou a adoção de outras medidas estruturais.

No presente trabalho, optou-se por propor áreas para implantação de outros reservatórios de menores dimensões, em sub-bacias afluentes, e realizar a análise do comportamento, verificando se estes satisfazem a situação atual ou se ao menos reduzem de maneira significativa a vazão de pico gerada no decorrer da precipitação pluviométrica.

- Reservatórios Múltiplos

Para implantação dos múltiplos reservatórios foram selecionadas áreas localizadas em sub-bacias afluentes, escolha esta gerada pelo fato destas não apresentarem dependência sobre a vazão de saída gerada pelo amortecimento de pico em reservatórios localizados mais a montante.

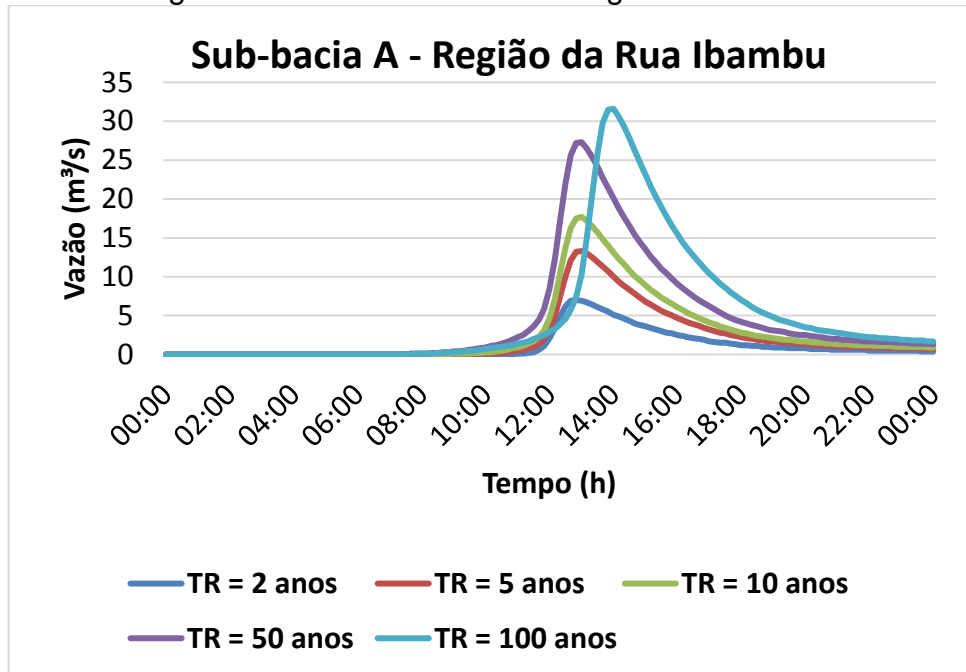
A partir deste fator torna-se possível o cálculo da área necessária para implantação do reservatório pelo método de Müller – Neuhaus, reduzindo o erro significativo que o mesmo representaria por não levar em consideração a vazão amortecida pelos reservatórios a montante, dado este não obtido no presente trabalho.

O volume gerado pelas bacias independentes corresponde em média a 40% do volume total gerado na bacia, sendo este, valor significativo caso fosse amortecido pelos reservatórios propostos, minimizando a sobrecarga no exutório da bacia.

Dentre os parâmetros calculados para realização do pré-dimensionamento dos reservatórios, foram analisados os dados de vazão gerada pela precipitação pluviométrica incidente em cada sub-bacia analisada, e os dados de vazão de saída dos reservatórios, sendo estes obtidos conforme as dimensões adotadas para as estruturas de saída (orifício+vertedor) de cada reservatório analisado.

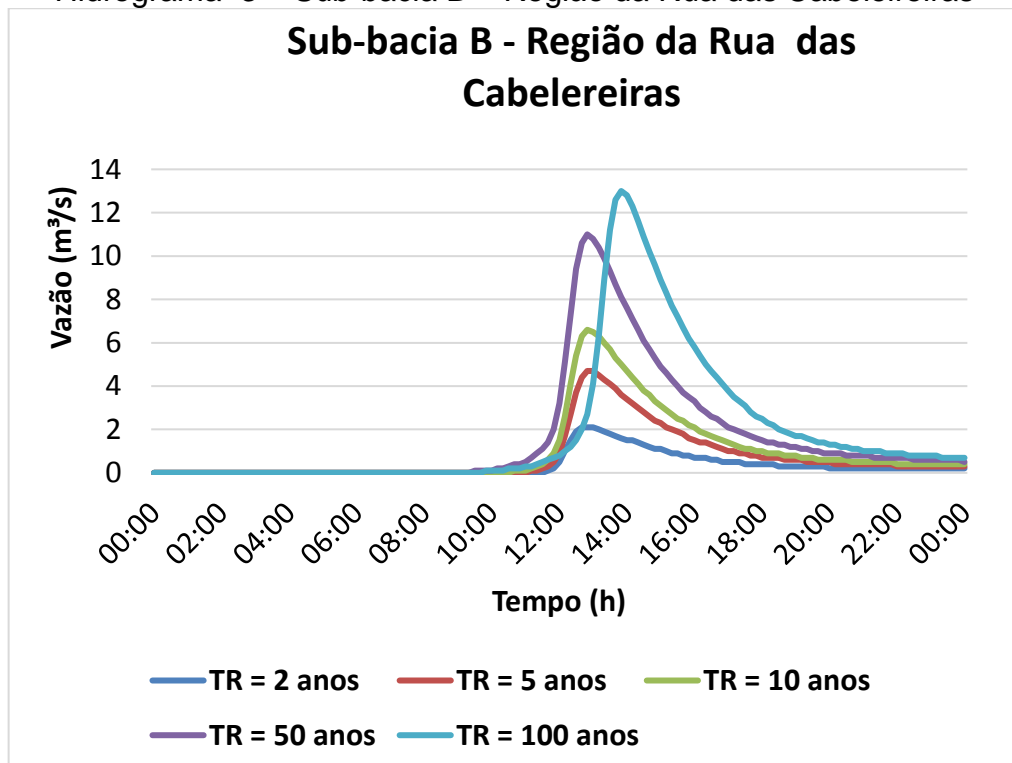
Os hidrogramas das sub-bacias analisados são apresentados separadamente e podem ser visualizados abaixo.

Hidrograma 2 – Sub – bacia A – Região da Rua Inambu



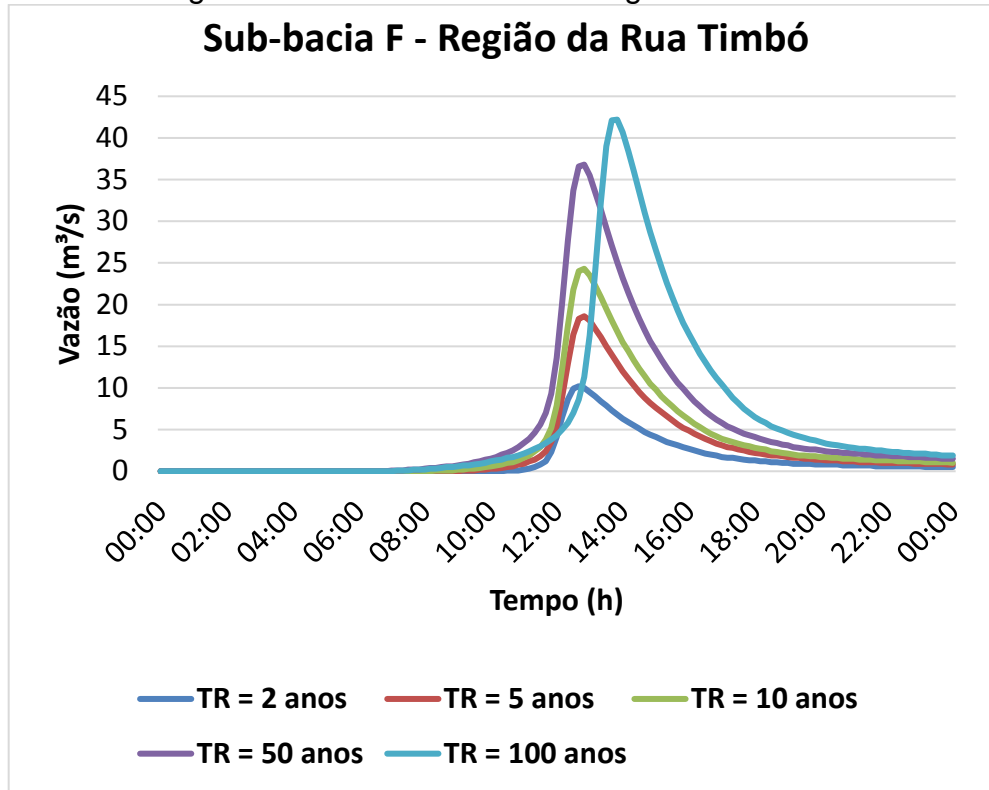
Fonte: Autora (2016).

Hidrograma 3 – Sub-bacia B – Região da Rua das Cabeleireiras



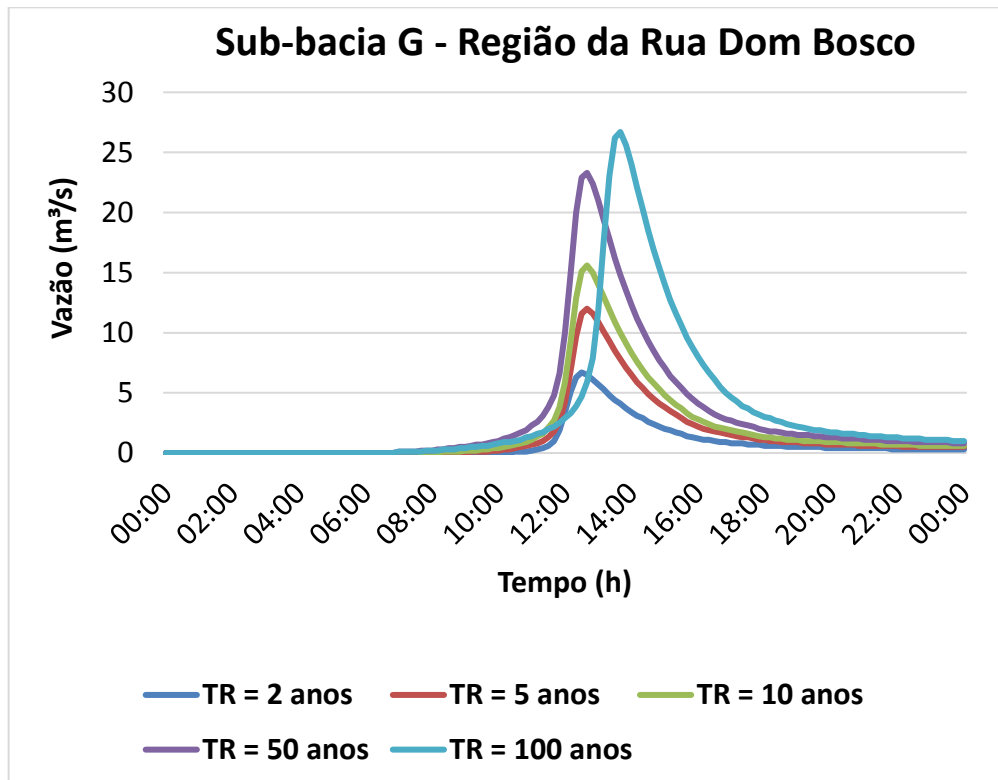
Fonte: Autora (2016).

Hydrograma 4 – Sub – bacia F – Região da Rua Timbó



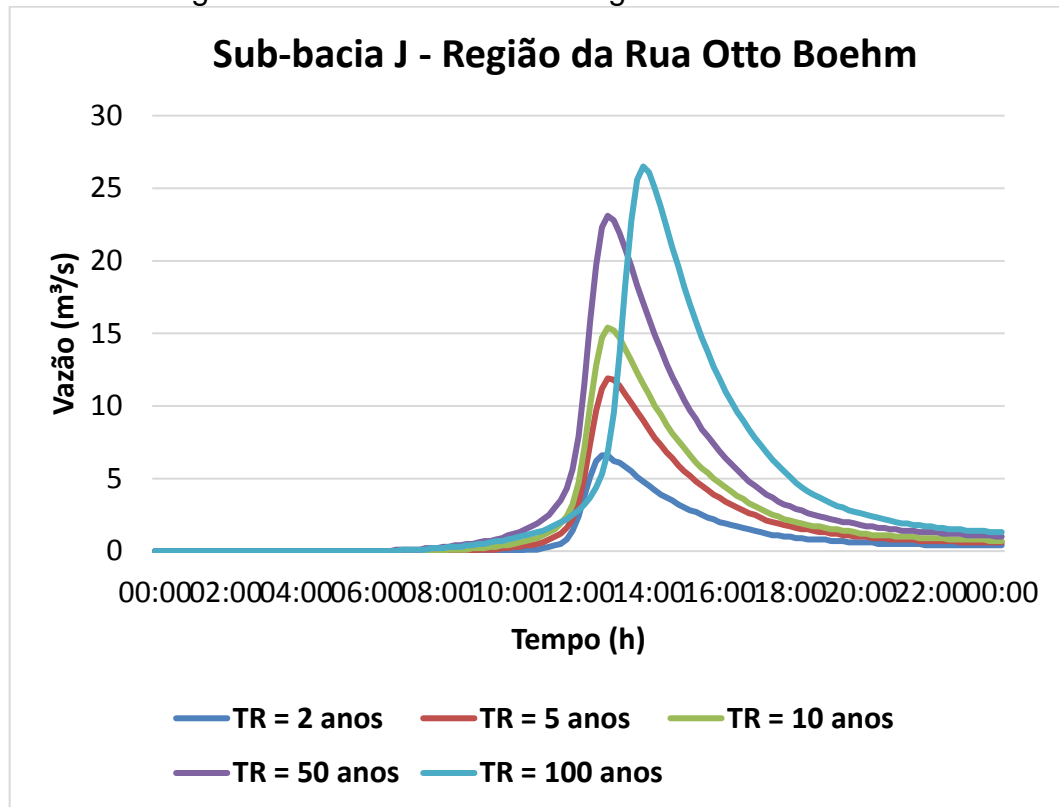
Fonte: Autora (2016).

Hydrograma 5 – Sub-bacia G – Região da Rua Dom Bosco



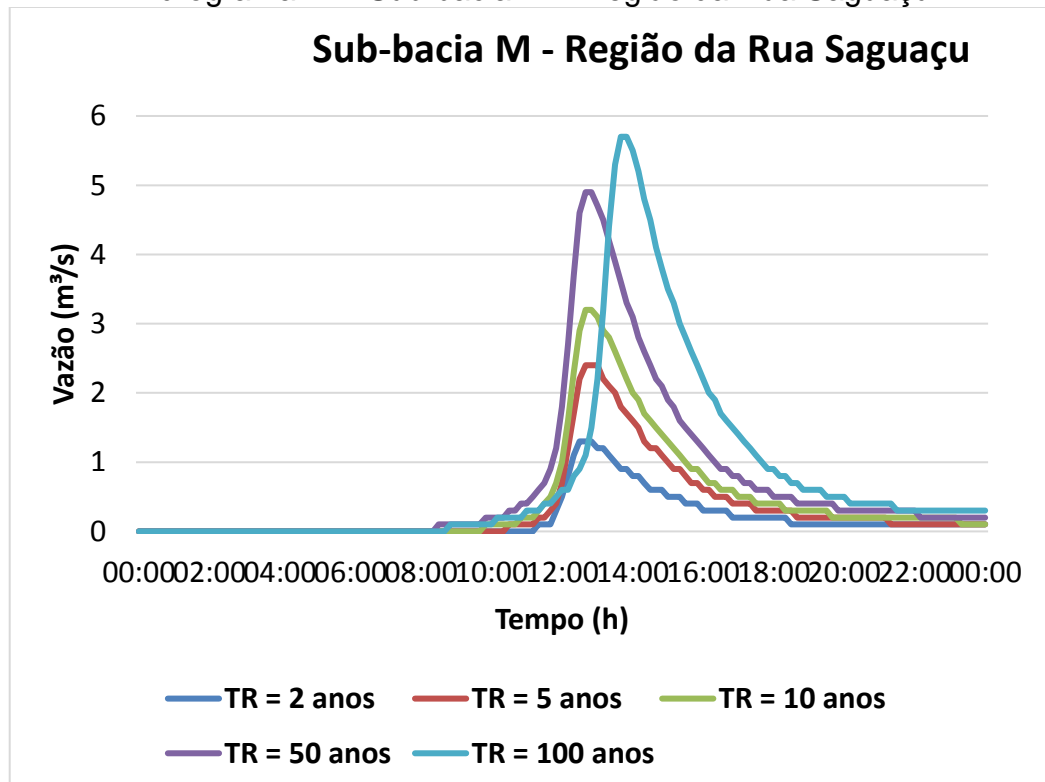
Fonte: Autora (2016).

Hidrograma 6 – Sub-bacia J – Região da Rua Otto Boehm



Fonte: Autora (2016).

Hidrograma 7 – Sub-bacia M – Região da Rua Saguauçu



Fonte: Autora (2016).

Posteriormente a análise das vazões de entrada, saída e demais parâmetros necessários para utilização do método proposto, calcula-se o volume de armazenamento necessário para satisfazer as condições de cada sub-bacia analisada, sendo estes, apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Volumes necessários para implantação dos reservatórios

VOLUMES NECESSÁRIOS PARA O ARMAZENAMENTO [10 ³ m ²]					
	TR 2 anos	TR 5 anos	TR 10 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
R02	3,34	23,92	42,25	89,51	113,12
R03	0,34	7,55	14,63	34,46	44,63
R04	0,82	10,95	19,79	42,23	53,33
R05	2,59	23,50	41,61	88,68	111,40
R06	1,29	1,29	2,20	4,47	5,65
R07	1,21	15,72	27,99	60,06	75,91

Fonte: Autora (2016).

Analisando o volume disponível nos locais pré-selecionados para implantação dos reservatórios (Tabela 12) e comparando-as com os volumes necessários, gera-se uma tabela demonstrativa contendo os reservatórios que satisfazem as necessidades das sub-bacias nas quais estão localizados (Tabela 13).

Tabela 12 – Volume Disponível para implantação dos reservatórios

VOLUME DISPONÍVEL [10 ³ m ³]	
R02	10, 462
R03	17, 037
R04	11, 390
R05	27, 168
R06	12, 442
R07	6, 051

Fonte: Autora (2016).

Tabela 13 - Análise da funcionalidade dos reservatórios

VERIFICAÇÃO - ÁREA DISPONÍVEL E ÁREA NECESSÁRIA					
	TR 2 anos	TR 5 anos	TR 10 anos	TR 50 anos	TR 100 anos
R02	✓	✗	✗	✗	✗
R03	✓	✓	✓	✗	✗
R04	✓	✓	✗	✗	✗
R05	✓	✓	✗	✗	✗
R06	✓	✓	✓	✓	✓
R07	✓	✗	✗	✗	✗

Fonte: Autora (2016).

Para melhor compreensão da leitura, a análise da funcionalidade de cada reservatório é dividida em tópicos, onde serão realizados os comentários oportunos.

➤ Reservatório 02

O Reservatório 02 está localizado na Sub-bacia A (região da Rua Inambú), sendo esta a sub-bacia mais a montante da bacia hidrográfica analisada, possuindo 2,83 km² de área útil e correspondendo em média a 9,0% do volume escoado na bacia.

A área correspondente a instalação do reservatório armazena um volume de 10.462,00 m³, sendo este satisfatório apenas para as solicitações de um período de retorno de 2 anos.

Para que o mesmo atendesse as necessidades do período de retorno de 5 anos por exemplo, o aumento do volume de armazenamento corresponderia a 45% do atual, necessitando que se procure novas áreas para a instalação, ou que sejam pesquisadas outras medidas estruturais para minimizar a sobrecarga do mesmo.

➤ Reservatório 03

O reservatório 03, localizado na Sub-Bacia B (região da Rua das Cabeleireiras), foi o segundo reservatório que mais atendeu as necessidades segundo os períodos de retorno estudados, apresentando resultados positivos para os anos de 2, 5 e 10 anos, e sendo necessário um aumento em 17.423,00m³ para atender as necessidades do período de retorno de 50 anos.

Apesar da sub-bacia na qual o empreendimento está localizado ser uma das menores sub-bacias consideradas, contendo apenas 1, 275km² e sendo responsável por somente, em média, 3,5% do escoamento superficial gerado pela bacia, a implantação do Reservatório 03 torna-se benéfica quando trata-se de inundações locais, já que a área enfrenta problemas com esse tipo de inundação.

Verificou-se também que a região possui outras áreas disponíveis para implantação do reservatório, podendo assim realizar um estudo mais aprofundado sobre os benefícios gerados para a região e posteriormente, possíveis alternativas para ampliação do volume de armazenamento ou a implantação de um novo reservatório, de menor dimensão, que trabalhando simultaneamente auxilie na mitigação do problema local.

Conforme o estudo de Mira (2015), a instalação de um reservatório nesse mesmo local, contendo área 2.990 m², e altura proposta de 6,00 metros, não apresenta bons resultados, porém é eficiente também para eventos com período de retorno de 10 anos, sendo considerado como uma alternativa aplicável, gerando o amortecimento dos picos de cheias.

➤ Reservatório 04

O Reservatório 04, localizado na sub-bacia G (região da Rua Dom Bosco), atende as necessidades dos períodos de retorno de 2 e 5 anos, na qual o volume escoado pela bacia corresponde a cerca de 6,5% do valor total.

Assim como o Reservatório 03, a implantação deste gera maiores benefícios quando analisando somente a sub-bacia em qual está localizado, minimizando os problemas de inundações locais na região que se apresenta predominantemente urbanizada.

Para melhor verificação da aplicabilidade do reservatório, se torna necessário a elaboração de estudos de viabilidade técnica e econômica, incluindo estudos que relacionem o custo x benefício do empreendimento.

➤ Reservatório 05

Dentre as sub-bacias em que estão localizados os reservatórios, a Sub-bacia F, que comporta o Reservatório 05 (região da Rua Timbó), apresenta o maior percentual de influência do volume escoada, correspondendo este valor a cerca de 12,0% do total.

A partir da análise dos resultados verificou-se que o reservatório R5, possuindo volume de 27.168,00m³, atende as necessidades dos períodos de retorno de 2 e 5 anos, necessitando que haja um aumento de 65,30% do volume disponível para atender ao período de retorno de 10 anos.

A Sub-bacia em que o reservatório está localiza-se em uma área urbanizada, sendo a área selecionada para implantação ocupada por um campo de futebol, podendo como proposta, ser utilizado em conjunto com o reservatório, compatibilizando lazer com a necessidade de minimizar os transtornos com inundações.

➤ Reservatório 06

A sub-bacia na qual o Reservatório 06 está localizado (Sub-Bacia M – região da Rua Saguçu) é a menor sub-bacia quando comparado as demais, possui um dos maiores índices de mata nativa existentes, sendo 82,0% da sua área total composta por áreas de mata.

Localizado em um dos principais parques da cidade, o reservatório foi planejado para aproveitar uma lagoa existente no local, minimizando alguns dos gastos de exceção. Este também apresenta uma profundidade inferior aos demais, possuindo apenas 3,00 metros.

Após realizada a análise do volume necessário para implantação do reservatório e do volume disponível do mesmo, o Reservatório 06 é o único que atende as necessidades para todos os períodos de retorno, possuindo ainda um

volume disponível de 6.792m³ quando comparado ao período de retorno de 100 anos.

Apesar de o reservatório mostrar resultados positivos aos períodos analisados, o fato de estar localizado em uma sub-bacia de pequeno porte, sendo esta correspondente a 1,5% do volume de escoamento de toda bacia hidrográfica analisada, sua implantação pode ser inviabilizada, sendo necessária a realização de um estudo para verificar se nesta área há muitos problemas relacionados a inundações, além de analisar o custo do investimento.

➤ Reservatório 07

O Reservatório 07, localizado na sub-Bacia J (região da Rua Otto Boehm), está localizado em área predominantemente urbanizada, com mínimas áreas livres para a implantação de reservatórios de maior porte, sendo este um dos fatores principais que levam com que o reservatório dimensionado apresente resultados positivos apenas para o período de retorno de 2 anos.

Seu pequeno índice de armazenamento, somente 6.051,00m³, necessitaria de um aumento de praticamente 40% para atender ao período de retorno de 5 anos, sendo necessário assim procurar novas áreas para implantação do mesmo e/ou aliar este a outras medidas de controle que auxiliariam na redução das inundações.

7. CONCLUSÃO

Conforme a caracterização da bacia hidrográfica analisada comprovou-se o predomínio de áreas urbanizadas, correspondendo a 78,47% da área total da mesma, fator este de grande influência para a ocorrência de inundações, considerando o fato de a cidade ter se desenvolvido sem planejamento, com ocupação desordenada e sem a importante atenção aos recursos hídricos.

Com a realização do dimensionamento considerado dos reservatórios propostos pode-se observar que o principal reservatório proposto, o Reservatório 01, não possui dimensões suficientes para armazenar a quantidade do volume gerado, sendo sua aplicabilidade ineficiente para a situação atual em períodos de retorno distintos.

Na análise dos reservatórios múltiplos, apenas o Reservatório 06 atendeu todos os critérios dos períodos de retorno, porém ocorre à necessidade de um estudo mais detalhado, considerando que este estudo consiste apenas em um pré-dimensionamento, necessitando de estudos de viabilidade técnica e econômica. O mesmo ocorre para os outros reservatórios que geraram resultados positivos para períodos de retorno menores, como por exemplo, o Reservatório 03 que atendeu as necessidades dos períodos de retorno de 2,5 e 10 anos, e os reservatório 04 e 05, que supriram a necessidade dos períodos de retorno de 2 e 5 anos, todavia para estes três reservatórios quando analisados somente na sua sub-bacia, diminuem o escoamento superficial da mesma e reduz os índices de inundações locais e intensas gerados na área.

Para definição das vazões de pico e dimensionamento do volume dos reservatórios, os métodos SCS e Müller – Neuhaus, respectivamente, se mostraram eficazes, porém é de primordial importância que se realizem mais testes com outros métodos, verificando a efetiva viabilidade da instalação de reservatórios nestes locais. Por se tratar de uma obra complexa e de macrodrenagem, o tempo em que a maioria dos reservatórios satisfaz a necessidade encontrada, assim como o

pequeno percentual dos reservatórios que apresentaram resultados positivos, pode inviabilizar a implantação destes nas áreas pré-estabelecidas.

O trabalho desenvolvido, por si só, não inviabiliza os estudos para implantação de reservatórios como solução para controle de cheias na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, surgindo à necessidade, como proposta para trabalhos futuros, da obtenção de locais que forneçam maiores áreas para implantação de reservatórios, mesmo que o grau de urbanização da cidade seja fator agravante. Também se podem propor obras que operem em conjunto com estes, auxiliando no controle dos índices de inundação, amortecendo o pico de vazão no exutório, e minimizando as inundações locais ao bacia analisada.

Outro fato relevante na cidade de Joinville, é que a mesma sofre a influência da variação da maré, causando inundações em pontos da cidade mesmo sem a ocorrência de precipitação pluviométrica. Os resultados obtidos possuem ainda este fator como agravante, já que o presente trabalho possui uma limitação quanto à influência da maré na região estudada, na qual não foram realizadas considerações perante o tema, propondo para trabalhos futuros a inserção dos impactos gerados em decorrência a influencia da maré nos resultados da vazão gerada através da precipitação nos períodos de retorno estudados.

Verificou-se que a implantação de reservatórios como solução para controle de cheias tem se mostrado eficiente nos locais em que foram implantados, mesmo tratando-se de um método pouco utilizado no Brasil.

REFERÊNCIAS

A NOTÍCIA. **Pavimentação e término de galeria nas obras do Morro Alto**. 14 mar. 2012. Disponível em: <<https://www.joinville.sc.gov.br/noticia/1287-Pavimenta%C3%A7%C3%A3o+e+t%C3%A9rmino+de+galeria+nas+obras+do+Morro+Alto.html>>. Acesso em: 16 jun. 2016

ANDRADE FILHO, Alceu G. de; SZÉLIGA, Marcos R; ENOMOTO, Carolina F. Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas. **Revista Publicatio UEPG**. Ponta Grossa, PR, v.6, n.1, p. 69-90, 2000

BAENINGER, Rosana. **População e Cidades**: Subsídios para o planejamento e para as políticas sociais. Campinas, 2010. Disponível em: <http://www.unfpa.org.br/Arquivos/populacao_cidade.pdf>. Acesso em: 01 jun. 2016.

CANHOLI, Alúcio P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CAVION, Renata. **Cidade Sob (re) as Águas**: Estratégias de Ação e de Políticas urbanas. 2014. 191p. Tese (Doutorado) - Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

COELHO, Gustavo de. A. **Utilização de bacias de retenção de águas pluviais em planos diretores de macrodrenagem**. 2010. 85p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2010.

DNIT. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.

GEISSLER, Helene J. **Avaliação de cenários de inundações no planejamento do uso e ocupação do solo urbano**. 2012. 106p. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Florianópolis, 2012.

GOULARTE, Juliana de A. **Biblioteca Pública de Joinville**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

HOEPFNER, Ana C. **Estudo comparativo entre vazões de pico estimadas pelo método racional e pelo método do SCS para a bacia hidrográfica do rio Bom Retiro em Joinville – SC.** 2007. 57p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Sanitária Ambiental, Florianópolis, SC. 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População nos censos demográficos, segundo as grandes regiões, as unidades da federação e a situação do domicílio: 1960/2010.** Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8>. Acesso em: 27 maio 2016.

JOINVILLE (PMJ). **Plano Diretor de Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira.** Prefeitura Municipal de Joinville, 2011.

JOINVILLE (PMJ). **Projeto Rio Mathias – Obras de contenção das inundações no centro de Joinville.** Prefeitura Municipal de Joinville, 2011a.

HÜFFNER, Anelise N. **Otimização para controle de alagamentos Urbanos: Aplicação na bacia hidrográfica da Vila Santa Isabel em Viamão, RS.** 2013. 82p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2013.

MARTINS, Leandro, G. B. **Determinação de parâmetros hidrológicos por técnicas de sensoriamento remoto em macrodrenagem urbana.** 2012. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MIRA, Luiz, M, J. **Dimensionamento preliminar de um reservatório de detenção offline na bacia do Rio Cachoeira no município de Joinville – SC.** 2016. 83p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Cursos de Engenharia de Infraestrutura, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC. 2016.

MÜLLER, Anaximandro, S. **Aplicabilidade de medidas não-estruturais no controle de cheias urbanas: Estudo de caso bacia hidrográfica do rio Cachoeira-Joinville-SC.** 2011. 223p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola Politécnica, Universidade Federal de São Paulo, São Paulo, SP. 2011.

MULLER, Cristiane R. **Avaliação de suscetibilidade a inundações utilizando geotecnologias para a bacia hidrográfica do Rio Cachoeira – Joinville/SC.** 2012. 117p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial e Desenvolvimento Socioambiental, Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

- OLIVEIRA, Luís M. de. **Acidentes Geológicos Urbanos**. Curitiba: Mineropar, 2010.
- PORTO ALEGRE (DEP/POA). **Plano diretor de drenagem urbana**: Manual de drenagem urbana. Porto Alegre: Departamento de Esgotos Pluviais da Prefeitura Municipal de Porto Alegre, 2005.
- SANTOS, Kesia R. dos. **Inundações Urbanas**: Um passeio pela literatura. 2012.190p – Universidade Estadual de Goiás, 2012.
- SÃO PAULO (Estado). Secretária Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais**: Gerenciamento do sistema de drenagem urbana. São Paulo: SMDU, 2012.
- SECRETARIA MUNUCIAL DO MEIO AMBIENTE (SMMA). **Meio Ambiente**. Curitiba. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/meio-ambiente-de-curitiba/182>> Acesso em: 18 jun. 2016.
- SILVA, Luciano C. da. **Sistemas de Drenagem Urbana Não-Convencionais**. 2004. 59p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil com ênfase Ambiental, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, SP. 2004.
- SILVEIRA, Wivian N. **Análise histórica de inundação no município de Joinville – SC, com enfoque na bacia hidrográfica do rio Cubatão do Norte**. 2008. 165p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2008.
- SOUZA, Ricardo C. C. de. **Análise da utilização de reservatório de contenção de cheias em edificações e seu impacto no sistema de drenagem urbana**. 2013. 116 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia de Produção Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba, PR. 2013.
- TASSI, Rutinéia. **Efeito dos microrreservatórios de lote sobre a macrodrenagem urbana**. 2002. 142p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2002.
- TAVARES, P. R. L.; CASTRO, M. A. H. de. **Simulação de Perfis D'água e Planícies de Inundação Relacionados a Diferentes Cenários de Urbanização**. XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa, 2005.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais: piscinões, galerias, bueiros, canais; métodos SCS**, Denver, Santa Bárbara, Racional, TR-55. 2. ed. Navegar, 2002.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. Da. UFRGS, 2009.

TUCCI, Calos. E.M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. Editora da Universidade. ABRH: EDUSP. Porto Alegre. Coleção ABRH de Recursos Hídricos. V. 4. 1993.

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

TUCCI, Carlos E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.2, n.2, p.5-12, maio. 1997. Disponível em: <<http://www.rhama.net/download/artigos/artigo2.pdf>>. Acesso em: 01 jun.2016.

UBERTI, Antônio A. A. **Boletim técnico do levantamento da cobertura pedológica do município de Joinville**. Município de Joinville, 2011.

UBERTI, Antônio A. A. **Boletim técnico do levantamento da cobertura pedológica e da aptidão agrícola das terras da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira**. Município de Joinville, 2012.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS – HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER – USACE/HEC. **Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Technical Reference Manual**. Davis, CA, Julho 2015.

WILKEN, Paulo Sampaio. **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo: CETESB, 1978. 477 p.

ANEXO I

Tabela 14 – Precipitação acumulada

	TR2	TR5	TR10	TR50	TR100
t [h]	Pacu [mm]	Pacu [mm]	Pacu [mm]	Pacu [mm]	Pacu [mm]
00:10	10,67	13,67	15,39	18,75	20,01
00:20	21,12	28,92	33,85	44,22	48,45
00:30	27,23	37,83	44,64	59,12	65,1
00:40	31,56	44,16	52,3	69,7	76,9
00:50	34,92	49,07	58,24	77,9	86,06
01:00	37,67	53,07	63,09	84,6	93,54
01:10	39,99	56,46	67,19	90,26	99,87
01:20	42,01	59,4	70,75	95,17	105,35
01:30	43,78	61,99	73,88	99,5	110,18
01:40	45,37	64,31	76,69	103,37	114,51
01:50	46,81	66,4	79,23	106,87	118,42
02:00	48,12	68,32	81,54	110,07	121,99
02:10	49,32	70,08	83,67	113,01	125,27
02:20	50,44	71,71	85,65	115,74	128,32
02:30	51,48	73,22	87,48	118,27	131,15
02:40	52,45	74,64	89,2	120,64	133,8
02:50	53,37	75,98	90,81	122,87	136,28
03:00	54,23	77,23	92,34	124,97	138,63
03:10	55,04	78,42	93,78	126,96	140,85
03:20	55,82	79,55	95,14	128,84	142,95
03:30	56,55	80,62	96,44	130,64	144,96
03:40	57,25	81,65	97,68	132,35	146,86
03:50	57,92	82,62	98,86	133,98	148,69
04:00	58,56	83,56	99,99	135,54	150,44
04:10	59,18	84,46	101,08	137,04	152,11
04:20	59,77	85,32	102,13	138,49	153,72
04:30	60,34	86,15	103,13	139,87	155,27
04:40	60,89	86,95	104,1	141,21	156,76
04:50	61,42	87,72	105,03	142,5	158,2
05:00	61,93	88,47	105,93	143,74	159,59
05:10	62,42	89,19	106,81	144,95	160,94
05:20	62,9	89,89	107,65	146,12	162,24
05:30	63,36	90,56	108,47	147,25	163,5
05:40	63,81	91,22	109,27	148,34	164,73
05:50	64,25	91,86	110,04	149,41	165,92
06:00	64,67	92,48	110,79	150,44	167,08

Continuação - Tabela 14

	TR2	TR5	TR10	TR50	TR100
t [h]	Pacu [mm]	Pacu [mm]	Pacu [mm]	Pacu [mm]	Pacu [mm]
06:10	65,09	93,08	111,52	151,45	168,2
06:20	65,49	93,66	112,23	152,43	169,29
06:30	65,88	94,24	112,92	153,39	170,36
06:40	66,26	94,79	113,59	154,32	171,4
06:50	66,63	95,34	114,25	155,22	172,41
07:00	67	95,87	114,89	156,11	173,4
07:10	67,35	96,38	115,52	156,97	174,37
07:20	67,7	96,89	116,13	157,82	175,31
07:30	68,04	97,38	116,73	158,64	176,23
07:40	68,37	97,87	117,31	159,45	177,14
07:50	68,69	98,34	117,89	160,24	178,02
08:00	69,01	98,8	118,45	161,02	178,88
08:10	69,32	99,25	119	161,77	179,73
08:20	69,62	99,7	119,53	162,52	180,56
08:30	69,92	100,13	120,06	163,24	181,37
08:40	70,22	100,56	120,58	163,96	182,17
08:50	70,5	100,98	121,08	164,66	182,95
09:00	70,78	101,39	121,58	165,35	183,72
09:10	71,06	101,8	122,07	166,02	184,47
09:20	71,33	102,19	122,55	166,68	185,21
09:30	71,6	102,58	123,02	167,33	185,93
09:40	71,86	102,96	123,48	167,97	186,65
09:50	72,12	103,34	123,94	168,6	187,35
10:00	72,37	103,71	124,39	169,22	188,04
10:10	72,62	104,07	124,83	169,82	188,72
10:20	72,87	104,43	125,26	170,42	189,39
10:30	73,11	104,78	125,69	171,01	190,04
10:40	73,34	105,13	126,1	171,59	190,69
10:50	73,58	105,47	126,52	172,16	191,32
11:00	73,81	105,8	126,92	172,72	191,95
11:10	74,03	106,14	127,32	173,27	192,57
11:20	74,26	106,46	127,72	173,82	193,18
11:30	74,48	106,78	128,11	174,35	193,78
11:40	74,69	107,1	128,49	174,88	194,37
11:50	74,91	107,41	128,87	175,4	194,95
12:00	75,12	107,72	129,24	175,92	195,52

Continuação – Tabela 14

	TR2	TR5	TR10	TR50	TR100
t [h]	Pacu [mm]	Pacu [mm]	Pacu [mm]	Pacu [mm]	Pacu [mm]
12:10	75,33	108,02	129,61	176,42	196,09
12:20	75,53	108,32	129,97	176,92	196,65
12:30	75,73	108,62	130,33	177,42	197,2
12:40	75,93	108,91	130,68	177,9	197,74
12:50	76,13	109,19	131,03	178,38	198,28
13:00	76,33	109,48	131,37	178,86	198,81
13:10	76,52	109,76	131,71	179,33	199,33
13:20	76,71	110,03	132,04	179,79	199,85
13:30	76,89	110,31	132,38	180,25	200,36
13:40	77,08	110,58	132,7	180,7	200,86
13:50	77,26	110,84	133,02	181,14	201,36
14:00	77,44	111,11	133,34	181,58	201,85
14:10	77,62	111,37	133,66	182,02	202,33
14:20	77,8	111,62	133,97	182,45	202,81
14:30	77,97	111,88	134,28	182,87	203,29
14:40	78,14	112,13	134,58	183,29	203,76
14:50	78,31	112,38	134,88	183,71	204,22
15:00	78,48	112,62	135,18	184,12	204,68
15:10	78,65	112,87	135,47	184,52	205,13
15:20	78,81	113,11	135,76	184,93	205,58
15:30	78,98	113,35	136,05	185,32	206,03
15:40	79,14	113,58	136,34	185,72	206,46
15:50	79,3	113,81	136,62	186,1	206,9
16:00	79,45	114,04	136,9	186,49	207,33
16:10	79,61	114,27	137,17	186,87	207,75
16:20	79,77	114,5	137,45	187,25	208,18
16:30	79,92	114,72	137,72	187,62	208,59
16:40	80,07	114,94	137,98	187,99	209
16:50	80,22	115,16	138,25	188,36	209,41
17:00	80,37	115,38	138,51	188,72	209,82
17:10	80,52	115,59	138,77	189,08	210,22
17:20	80,66	115,8	139,03	189,43	210,61
17:30	80,81	116,01	139,28	189,78	211,01
17:40	80,95	116,22	139,54	190,13	211,4
17:50	81,09	116,43	139,79	190,48	211,78
18:00	81,23	116,63	140,03	190,82	212,16

Continuação – Tabela 14

	TR2	TR5	TR10	TR50	TR100
t [h]	Pacu [mm]	Pacu [mm]	Pacu [mm]	Pacu [mm]	Pacu [mm]
18:10	81,37	116,84	140,28	191,16	212,54
18:20	81,51	117,04	140,52	191,49	212,92
18:30	81,64	117,24	140,76	191,83	213,29
18:40	81,78	117,43	141	192,15	213,66
18:50	81,91	117,63	141,24	192,48	214,02
19:00	82,04	117,82	141,47	192,81	214,38
19:10	82,18	118,01	141,7	193,13	214,74
19:20	82,31	118,21	141,94	193,44	215,1
19:30	82,44	118,39	142,16	193,76	215,45
19:40	82,56	118,58	142,39	194,07	215,8
19:50	82,69	118,77	142,62	194,38	216,14
20:00	82,82	118,95	142,84	194,69	216,49
20:10	82,94	119,13	143,06	195	216,83
20:20	83,07	119,31	143,28	195,3	217,17
20:30	83,19	119,49	143,5	195,6	217,5
20:40	83,31	119,67	143,71	195,9	217,83
20:50	83,43	119,85	143,92	196,19	218,16
21:00	83,55	120,02	144,14	196,48	218,49
21:10	83,67	120,2	144,35	196,77	218,81
21:20	83,79	120,37	144,56	197,06	219,14
21:30	83,91	120,54	144,76	197,35	219,45
21:40	84,02	120,71	144,97	197,63	219,77
21:50	84,14	120,88	145,17	197,91	220,09
22:00	84,25	121,05	145,38	198,19	220,4
22:10	84,37	121,21	145,58	198,47	220,71
22:20	84,48	121,38	145,78	198,75	221,02
22:30	84,59	121,54	145,97	199,02	221,32
22:40	84,7	121,7	146,17	199,29	221,62
22:50	84,81	121,86	146,36	199,56	221,92
23:00	84,92	122,02	146,56	199,83	222,22
23:10	85,03	122,18	146,75	200,09	222,52
23:20	85,14	122,34	146,94	200,36	222,81
23:30	85,25	122,5	147,13	200,62	223,11
23:40	85,35	122,65	147,32	200,88	223,4
23:50	85,46	122,81	147,51	201,13	223,68
00:00	85,57	122,96	147,69	201,39	223,97