



Universidade Federal
do Rio de Janeiro

Escola Politécnica

PROJETO DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL PARA MITIGAÇÃO DE CHEIAS NA BACIA DO RIO QUITANDINHA, EM PETRÓPOLIS, RJ

Fernanda Cristina Gonçalves Gonzalez

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheiro.

Orientador: Paulo Renato Diniz Junqueira Barbosa

Coorientador: Sergio Aníbal Gonzalez Alonso

Rio de Janeiro

Agosto de 2014

**PROJETO DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL PARA MITIGAÇÃO
DE CHEIAS NA BACIA DO RIO QUITANDINHA, EM
PETRÓPOLIS, RJ**

Fernanda Cristina Gonçalves Gonzalez

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENATAL.

Examinada por:

Prof. Paulo Renato Diniz Junqueira Barbosa

Prof. Sergio Aníbal Gonzalez Alonso

Prof. Matheus Martins de Sousa

Rio de Janeiro

Agosto de 2014

Fernanda Cristina Gonçalves Gonzalez

Projeto de Drenagem Sustentável para Mitigação de Cheias na Bacia do Rio Quitandinha, em Petrópolis, RJ / Fernanda Cristina Gonçalves Gonzalez. – Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2014.

X, 79 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Paulo Renato Diniz Junqueira Barbosa

Coorientador: Sergio Aníbal Gonzalez Alonso

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica /
Curso de Engenharia Ambiental, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 76-79

1. Petrópolis. 2. Enchentes 3. Drenagem Sustentável. 4. Bacia de Detenção. 5. Trincheira de Infiltração. I. Barbosa, Paulo Renato Diniz Junqueira. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Projeto de Drenagem Sustentável para Mitigação de Cheias na Bacia do Rio Quitandinha, em Petrópolis, RJ

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à minha família, por todo apoio e toda oração, de forma particular àqueles mais próximos: minha mãe Elisabeth, por todo incentivo e exemplo de dedicação, meus irmãos Bia e Diego, pela amizade e presença, e meus avós Iria e Babli, por sempre torcerem muito por mim e fazerem cada vitória ter mais significado.

Agradeço aos amigos da graduação de engenharia ambiental - que não citarei nomes para não ser injusta – por esses ótimos anos de convivência, pelas conversas, pela amizade e pelo estímulo que é estar cercada de pessoas tão brilhantes.

Agradeço de forma muito especial à Olívia, com quem iniciei essa pesquisa, e ajudou notoriamente este trabalho a ser concebido.

Agradeço aos amigos do Rio, de Petrópolis e de sempre, pelo qual a presença fizeram esses anos de graduação serem mais leves. De forma particular ao Adriano, por todo estímulo, compreensão, intercessão, paciência e ajuda em tudo que era possível, nessa reta final, e ao amigo Álvaro, por, nas horas difíceis, ter me mostrado que é possível.

Agradeço à Marilda e Maria Fernanda, por terem sido tão bons exemplos de engenheiras, comprometidas e competentes, por toda confiança e por toda contribuição que tiveram na minha formação.

Agradeço a todos os professores da graduação de engenharia ambiental pela formação recebida, e de forma muito particular o professor Paulo Renato, pela formação diferenciada, e pelo zelo com seus alunos. E sobretudo em sua orientação a esse projeto, por toda ajuda, por toda solicitude e toda paciência.

Agradeço ao meu pai, Sérgio, que foi, e permanece sendo, meu melhor professor, com toda sua dedicação a mim e a seus outros alunos/filhos, e maior exemplo de profissional competente e apaixonado pelo que faz. Sei que as horas de sono que lhe roubei com a instrução que recebi nos últimos tempos, somam-se às das noites mal dormidas de 24 anos atrás e me deixam em uma dívida eterna de gratidão.

E agradeço finalmente Aquele, sem o qual nada disso seria possível, por toda oportunidade, por cada vitória, por cada lágrima enxugada, por ter me guiado até a minha vocação. E principalmente, por ter dado a toda derrota, a toda conquista e a todo esforço, um sentido, pelo qual vale a pena viver.

“O Senhor Deus tomou o homem e colocou-o no jardim do Éden, para cultivá-lo e guardá-lo.”

(Gênesis 2,15)

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.

Projeto de Drenagem Sustentável para Mitigação de Cheias na Bacia do Rio
Quitandinha, em Petrópolis, RJ

Fernanda Cristina Gonçalves Gonzalez

Agosto/2014

Orientador: Paulo Renato Diniz Junqueira Barbosa

Curso: Engenharia Ambiental

A ocupação urbana realizada de forma desordenada e sem planejamento geram uma ausência de infraestrutura básica e dificuldade posterior de intervenção por meio de obras. O sistema de drenagem pluvial tem-se apresentado sobrecarregado em diversas cidades que sofreram um crescimento desenfreado, e suas consequências podem ser catastróficas, como o caso das enchentes que assolam Petrópolis, na região serrana do Rio de Janeiro. Neste contexto, a drenagem urbana sustentável surge como uma alternativa que envolve uma intervenção urbana leve, sem transferir o problema do excesso de água para jusante, ao mesmo tempo que integra-se à paisagem e às funções urbanas da cidade. Bacias de retenção e Trincheiras de infiltração são exemplos de medidas que podem ser combinadas para o amortecimento de deflúvios e regulação do ciclo hidrológico de ambientes urbanos, contribuindo com a drenagem urbana já existente.

Palavras chave: Petrópolis, enchentes, drenagem sustentável, bacia de retenção, trincheira de infiltração.

Abstract of Undergraduate Project presumed to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.

Sustainable Drainage Project for the Floods Mitigation in the Quitandinha River Basin, at Petrópolis, RJ

Fernanda Cristina Gonçalves Gonzalez

August/2014

Advisor: Paulo Renato Diniz Junqueira Barbosa

Course: Environmental Engineering

The urban occupation conducted disorderly and without planning causes a lack of basic infrastructure and further difficulty to intervene by work. The pluvial drainage system is overwhelmed in various cities that showed a rampant growth, and its consequences can be catastrophic, as in the case of floods affecting Petrópolis, in the mountainous region of Rio de Janeiro. In this context, sustainable urban drainage is an alternative that involves a small urban intervention, without transferring the problem of excess water downstream, while integrating with the landscape and the urban functions of the city. Detention basins and infiltration trenches are examples of measures that can be combined to damp the rain's runoff and regulation of the hydrological cycle of urban environments, contributing to the existing urban drainage.

Keywords: Petropolis, floods, sustainable drainage, detention basin, infiltration trench.

Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	Motivação	4
1.2	Objetivo	9
1.3	Estrutura do Projeto Final	10
2	Conceitos.....	11
2.1	Drenagem Urbana Convencional.....	11
2.2	Drenagem Urbana Sustentável.....	12
2.3	Sistema de Drenagem Pluvial	14
3	Estudo de Caso.....	18
3.1	Caracterização do Local.....	18
3.1.1	Solo.....	21
3.1.2	Clima e hidrologia	23
3.1.3	Hidrografia.....	26
3.1.4	Histórico de Drenagem.....	28
3.2	Bacia Hidrográfica do Rio Quitandinha	29
4	Projeto	33
4.1	Bacia de Detenção	35
4.2	Trincheira de Infiltração	37
4.3	Estudo Hidrológico	40
4.3.1	Método Racional	40
4.3.2	Método racional Modificado (Kirpich)	42
4.3.3	Método do Hidrograma Unitário do “U. S. Soil Conservation Service ...	43
4.4	Análise da Atual Situação.....	48
4.4.1	Vazão gerada na bacia do Rio Quitandinha.....	49
4.4.2	Capacidade Hidráulica do canal do Rio Quitandinha.....	53
4.5	Projeto Hidráulico.....	55
4.5.1	Reservatório 1.....	56
4.5.2	Reservatório 2.....	63
4.5.3	Resultado parcial	69
4.5.4	Trincheiras de infiltração.....	72

5	Conclusão	74
6	Referências	76

1 Introdução

Drenagem é o ato de escoar as águas de terrenos encharcados, por meio de tubos, túneis, canais, valas e fossos sendo possível recorrer a motores como apoio ao escoamento. Para alcançarmos a percepção da drenagem é necessário termos a dimensão da bacia hidrográfica em questão, assim como o contexto socioambiental em que ela está inserida, e só desta forma, tem-se a dimensão da estrutura necessária para implantação da mesma.

O crescimento populacional exponencial do Brasil unido ao êxodo rural, fez com que o crescimento das cidades do Brasil ocorresse de forma caótica, o que significa que essas não possuíam uma estrutura suficiente para comportar este aumento populacional, e com isso ocorreu uma urbanização desordenada, que dentre tantas insuficiências, não recebeu o suporte de drenagem necessário. (Gráfico 1)

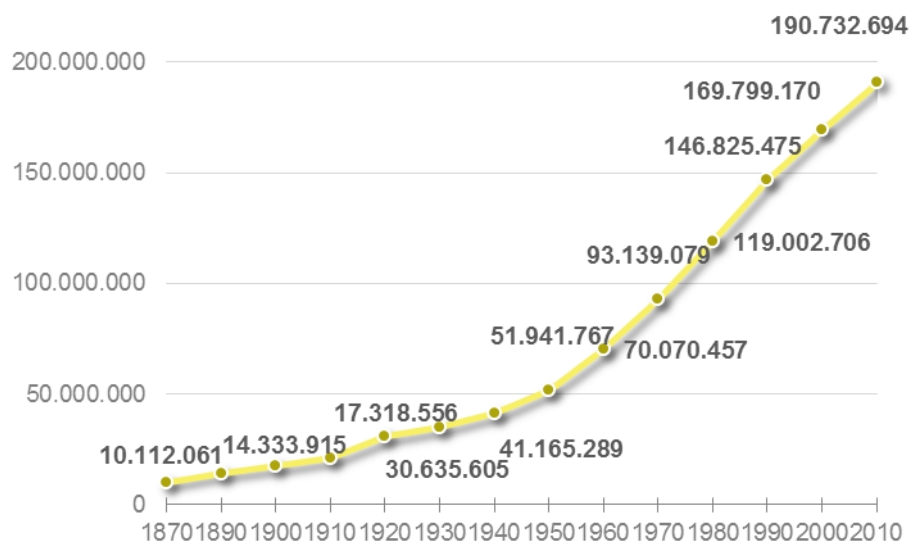


Gráfico 1: Número de habitantes no Brasil . Fonte IBGE

Com o desenvolvimento das cidades, os rios são canalizados e os pavimentos impermeabilizados, ocasionando o aumento do coeficiente de *runoff*, de forma que a água passou a infiltrar menos e escoar mais, gerando enchentes. (Figura 1)

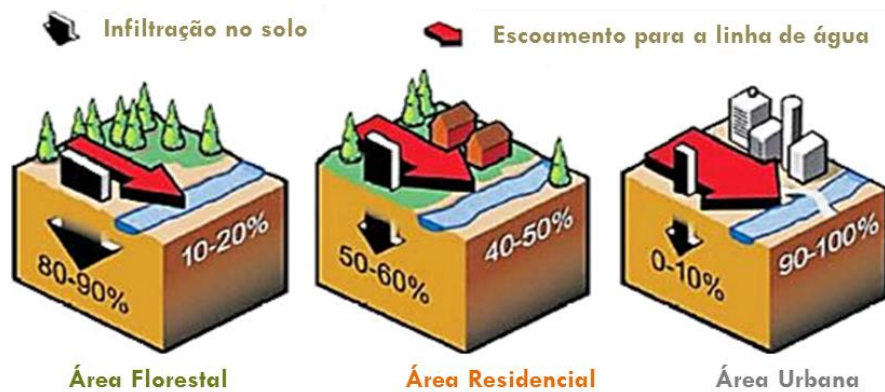


Figura 1: Alterações hidrológicas consequentes do crescimento urbano.

Fonte: Mata-Lima et al, 2007.

Quando ocorre uma precipitação e o solo já não tem capacidade de infiltrar, a maior parte do volume escoar para o sistema de drenagem. O excesso que extravasa do sistema ocupa as áreas próximas aos rios, e a partir disso nos deparamos com o fenômeno das cheias urbanas.

Um exemplo de cidade que sofre com enchentes periódicas é a cidade de Petrópolis, no estado do Rio de Janeiro, como o catastrófico evento que ocorreu em 2011, como mostra a Figura 2. Diante disso, esse trabalho visa uma proposta de projeto sustentável para o sistema de drenagem de parte da cidade de Petrópolis, RJ.



Figura 2: Centro de Petrópolis durante a chuva de 17 de março de 2013 Fonte: Própria



Figura 3: Centro de Petrópolis após enchente de 17 de março de 2013 Fonte: Própria

1.1 Motivação

A cidade de Petrópolis, localizada na região serrana do estado do Rio de Janeiro é conhecida por seu enorme valor histórico, por ter sido residência de veraneio do Imperador Dom Pedro Segundo e por ter recebido a colonização de alemães.

A cidade, antes conhecida como Fazenda Córrego Seco, foi fundada em 1843 pelo então Imperador Dom Pedro II, quando foi decretado que lá seria construída uma residência de veraneio para a família imperial. Junto com o projeto de construção, foi decretado que a cidade receberia obras para a locação de estradas de acesso, instalações de quarteirões imperiais, edificação da catedral e de um cemitério, e passaria a ser cobrado então impostos imperiais para os habitantes. A urbanização da cidade de Petrópolis foi feita por iniciativa de Paulo Barbosa, mordomo da casa imperial e execução do engenheiro Major Frederico Köeler.

Köeler foi responsável por grande parte das obras que se sucederam, como as estradas, o projeto do palácio imperial, a arquitetura dos quarteirões e a canalização do rio que encontrava-se próximo à futura residência de veraneio imperial. Após o projeto, o engenheiro colocou à venda os lotes de terra por ele projetados para famílias alemães, que em cerca de seis meses chegaram para colonizar a cidade.

O projeto feito por Köeler diferenciou-se do estilo colonial utilizado na época, onde as construções eram erguidas com o fundo voltado para os rios, que eram utilizados apenas para lançamento de esgoto, o engenheiro aproveitou as margens do rio que encontrava-se no centro da cidade, o rio Piabanha, e colocou avenidas em seu entorno.

Köeler, em seu projeto mudou o curso de um trecho do Rio Quitandinha, para que este passasse na avenida em frente ao palácio imperial, como pode ser observada na Figura 3.

Pode-se observar que a mudança de Köeler trouxe algumas consequências negativas para o escoamento do Rio Quitandinha neste trecho, são elas:

- Os dois afluentes do Rio Piabanha, o Rio Quitandinha e o Rio Palatinato encontram-se de forma frontal, e depois fazem uma curva de 90° para seguir seu curso na Rua da Imperatriz (detalhe nas Figuras 4 e 5). Dessa forma, há uma grande perda de carga no escoamento, e uma diminuição da velocidade, que pode acarretar acúmulo de água a montante do encontro dos rios, isto é, na Rua do Imperador, a principal rua de Petrópolis.

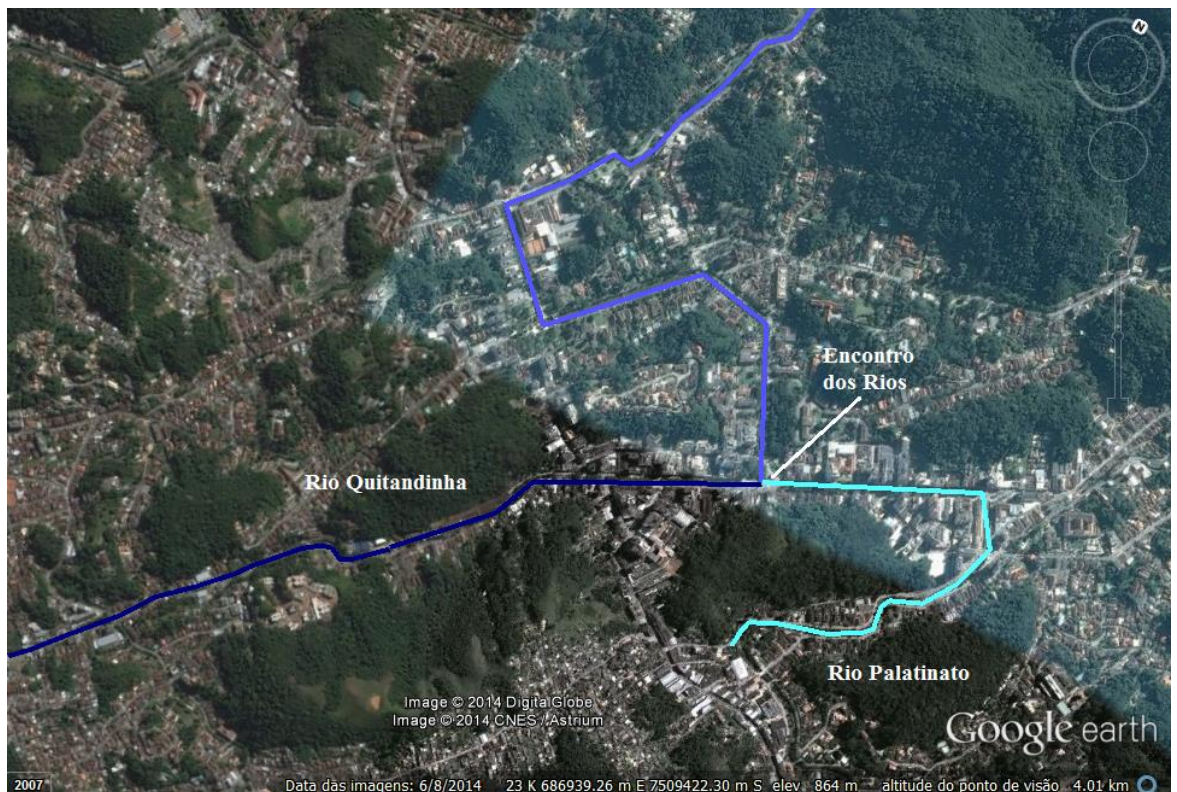


Figura 4: Encontro dos Rios no Centro de Petrópolis.

Fonte: Google Earth, 04 de agosto de 2014.

Rio
Palatinato



Encontro
dos Rios

Rio
Quitandinha

Figura 4: Detalhe do encontro dos rios Quitandinha e Palatinato no Centro de Petrópolis.

Fonte: visitepetropolis.com, acessado dia 15 de julho de 2014.

- O trecho modificado, entre a Rua do Imperador e o Palácio de Cristal, possui mais 4 curvas bruscas, sendo duas de noventa graus, e declividade baixíssima, por vezes negativa, que também dificulta o escoamento.

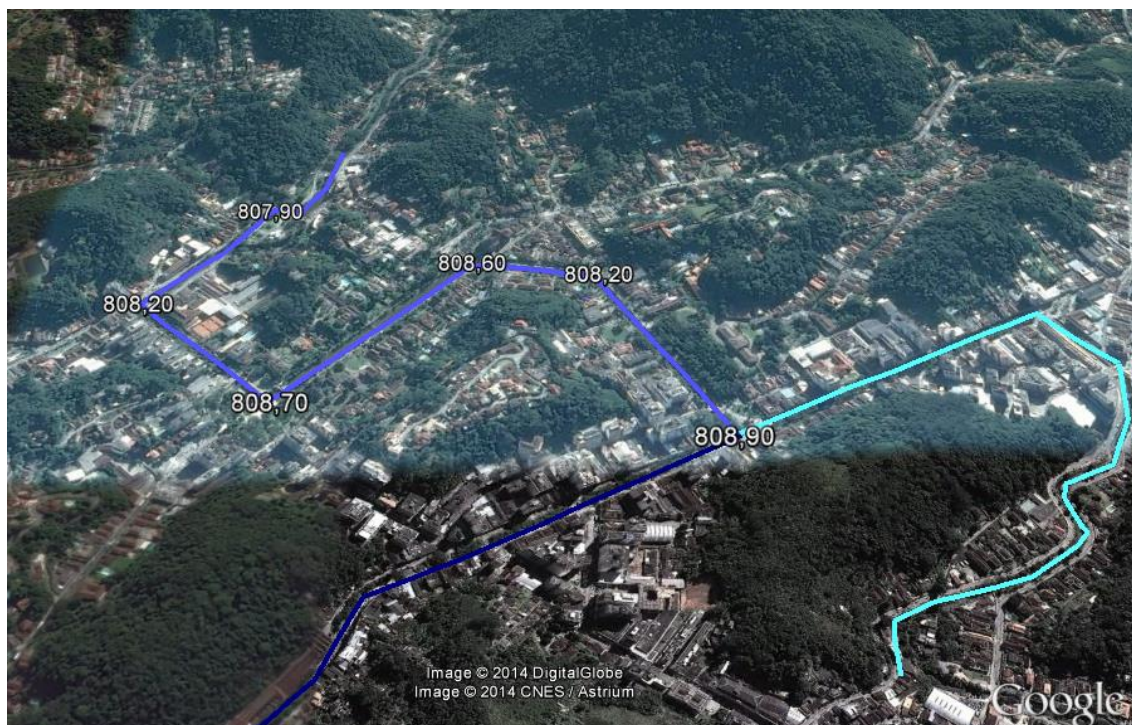


Figura 5: Cotas ao longo do Rio Quitandinha no centro de Petrópolis.

Fonte: Google Earth, acessado dia 03 de julho de 2014.

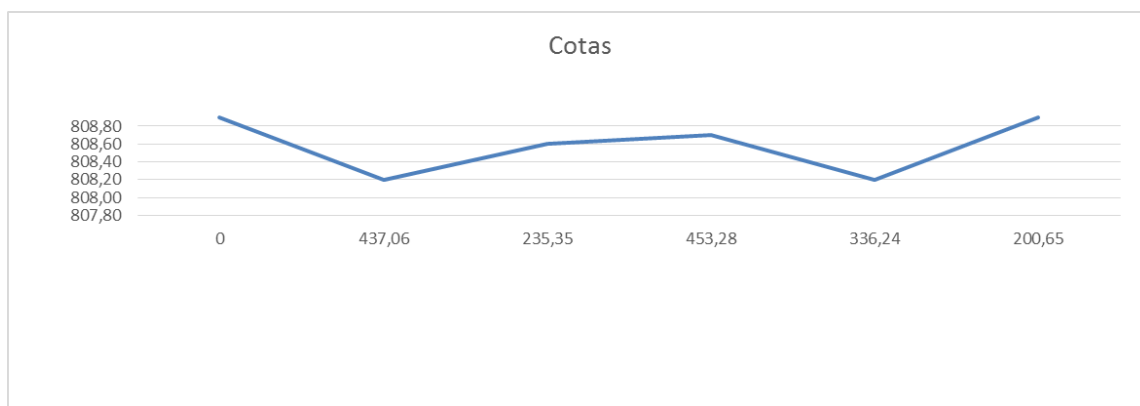


Gráfico 2: Cotas ao longo do Rio Quitandinha, no trecho do centro de Petrópolis.

Elaborado através de dados obtidos do Aero da Prefeitura Municipal (2013)

O que talvez na época não fizesse diferença, mostrou-se relevante anos mais tarde, pois a impermeabilização de áreas a montante e o assoreamento do leito elevaram

a vazão do Rio Quitandinha e diminuíram sua área de escoamento, e nos dias de hoje, o principal canal de escoamento da cidade apresenta-se insuficiente para drenar a cidade na época do verão onde ocorrem as maiores chuvas.

O engenheiro sanitarista Saturnino de Brito, em seu livro “*Projetos e Relatórios de Drenagem*”, escrito em 1900, comenta o erro de projeto cometido por Köeler e prevê que isso poderia acarretar consequências negativas posteriormente, como mostra no trecho a seguir:

A confluência das águas que vem do Palatinato (...) e descem da Renânia (Quitandinha), tem lugar de um modo menos favorável ao escoamento; os cursos convergentes descem segundo o mesmo alinhamento reto, ocupando o eixo da avenida 15 de Novembro (*atual Rua do Imperador*) e, encontrando-se em frente à avenida Sete de Setembro (*atual Rua Raul de Leoni*), obedecem a curvas fortíssimas e seguem pelo eixo desta avenida, o qual é perpendicular ao da Avenida 15 de Novembro, formando-se um T. Pode-se dizer que as veias líquidas se “fundem à força”, e, se a seção de vazão do curso que as recebe não for muito folgada, a inundação das margens já vem encontrar nos defeitos da retificação motivos bastantes para ocorrer, independentemente de fenômenos meteorológicos extraordinários. (BRITO, S. **Projetos e Relatórios**, Rio de Janeiro, 1943, pp. 165)

O problema, embora ocorra em muitas áreas da cidade, aparece de forma pertinente no centro de Petrópolis, e por ser a principal via de circulação de pedestres e automóveis, além da localização central, onde encontram-se escolas, clínicas, lojas e serviços em geral. Observa-se que uma solução baseada em obra estrutural causaria muito transtorno para o funcionamento da cidade. Este trabalho tratará o problema de forma holística, baseado na premissa de que diminuir a vazão afluente ao centro da cidade é uma forma de diminuir o risco de enchentes no mesmo.

Os dois rios afluentes do Rio Piabanha são Rio Palatinato e Rio Quitandinha. Juntos, esses três rios e seus afluentes formam uma bacia que compreende todo o primeiro distrito de Petrópolis.

Dentre as duas opções, a bacia escolhida para realizar a intervenção foi a bacia do Rio Quitandinha, pela importância de sua localização para a cidade e pela quantidade de eventos catastróficos que já ocorreram nesta região.

Com o crescimento da cidade de Petrópolis, verificou-se uma piora substancial no desempenho do rio Quitandinha durante as cheias e, conseqüentemente, um significativo aumento na frequência dos eventos associados a inundações, que chegam a ocorrer diversas vezes no período de um ano. Esse fato é motivo de preocupação desde a década de 70 e já foi alvo de vários estudos.

O diagnóstico do plano diretor, ainda não aprovado para cidade de Petrópolis, (portal da Câmara Municipal de Petrópolis cmp.web766.kinghost.net, acessado em 10 de maio de 2014) apresenta diversas soluções de cunho estrutural para este problema, tais como alargamento da calha do rio e mais canalizações. Tais obras, apesar de resolverem o problema emergencialmente, a longo prazo tornam-se obsoletas, uma vez que o aumento do uso dos solos e a impermeabilização dos mesmos aumentam a velocidade de escoamento para tais canais, que por sua vez já não suportam essa vazão.

Este trabalho, no entanto, pretende propor uma solução não estrutural para controle de cheia na calha do Rio Quitandinha, e conseqüentemente no centro de Petrópolis.

1.2 Objetivo

Esse trabalho objetiva primeiramente uma análise ambiental do contexto de drenagem como um todo envolvendo os seguintes aspectos:

- definição de drenagem e drenagem sustentável;
- funcionalidade da drenagem urbana e sua importância no planejamento;
- influência de parâmetros físicos na bacia hidrológica.

Posteriormente, será realizada uma apresentação de características da cidade de Petrópolis, no estado do Rio de Janeiro e do problema urbano pelo qual passam hoje alguns bairros da cidade.

Como último objetivo, este trabalho apresentará proposta e dimensionamento de um projeto hidráulico de duas bacias de retenção da água de chuva e de um trecho de trincheiras de infiltração, visando mitigar o problema das cheias de forma sustentável, no centro e em alguns bairros de Petrópolis.

1.3 Estrutura do Projeto Final

Esse Trabalho apresenta a seguinte estrutura:

Capítulo 1: Introdução

Capítulo 2: Conceitos

Capítulo 3: Estudo de Caso

Capítulo 4: Projeto

Capítulo 5: Conclusão

Capítulo 6: Referências

2 Conceitos

Esse trabalho irá tratar de diversas questões para uma análise mais profunda, alguns conceitos se fazem necessários, dos quais irá tratar esta seção. Tais como:

- Drenagem Urbana Convencional
- Drenagem Sustentável
- Sistema de Drenagem Pluvial

2.1 Drenagem Urbana Convencional

Os sistemas de drenagem convencional ou clássicos foram baseados nos conceitos do *higienismo*, que segundo GÓIS (2007), É “o estabelecimento de normas e hábitos para conservar e aprimorar a saúde coletiva e individual”. Desenvolvido no urbanismo francês do século XVII, o lema da drenagem higienista era “*tout à l’égout*”, (do francês: tudo ao esgoto), isto é, os esgotos são captados e levados a condutos subterrâneos por onde também circulam as águas pluviais. Para tal, utilizavam escoamento por gravidade e dispositivos para captação e dissipação da energia.

O conceito higienista chegou ao Brasil com as primeiras redes enterradas de esgoto sanitário implantadas em 1864, na cidade do Rio de Janeiro, mas ele somente seria amplamente aplicado após a proclamação da República.

Nesta época, a filosofia higienista e a hidráulica de condutos e canais eram complementares, de forma que as reformas urbanísticas foram feitas juntamente com essas ideias. Os sanitaristas da época estavam atentos a isso e, no fim do século XIX, o Brasil vê surgir entre eles a grande figura do engenheiro fluminense Saturnino de Brito (1864-1929), formado pela Escola Politécnica do Rio de Janeiro. Em sua obra mais famosa em Santos 1896 ele revolucionou o conceito de sanitarismo e apresentou

argumentos em favor do sistema separador absoluto contra o sistema dominante da época, o sistema unitário.

Apesar da grande revolução, essas reformas geraram graves problemas, uma vez que são sistemas de alta eficiência hidráulica ao escoar, aumentando as velocidades, e assim, implicando em cheias a jusante.

Ademais, tais soluções não consideravam o grande acúmulo de sedimentos gerado nas ruas pela poluição, que entopem os coletores e impedem a drenagem da água, além de comprometer a qualidade da mesma, uma vez que esses transportam poluentes.

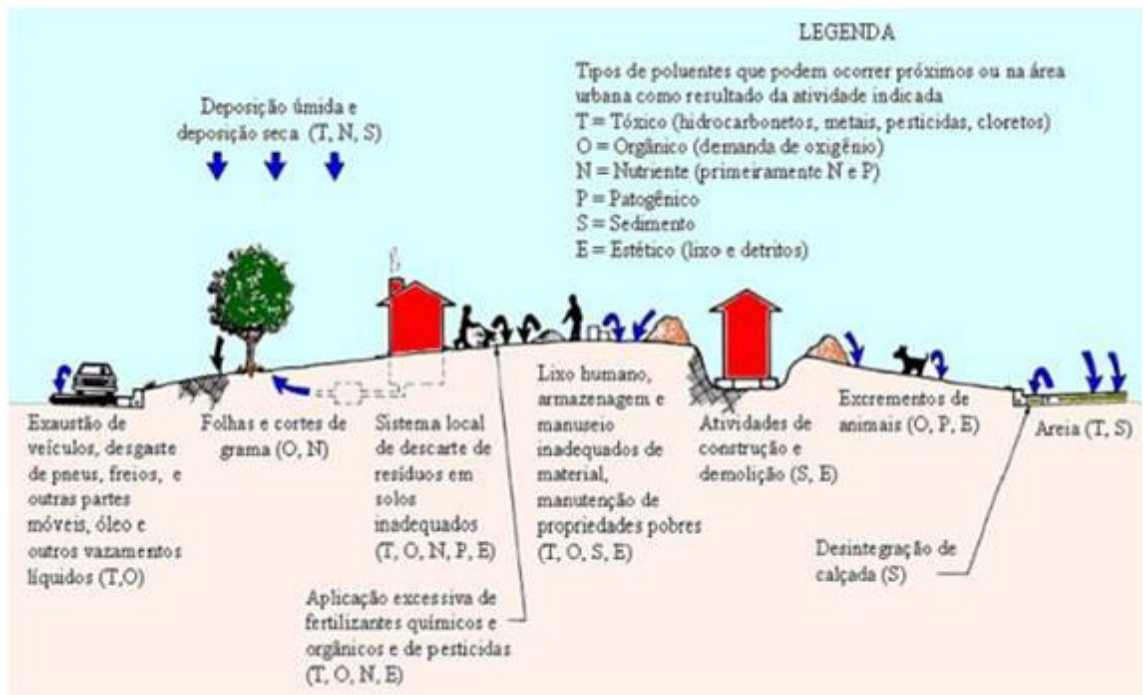


Figura 6: Fonte de Poluição Urbana.

Fonte: TUCCI, 2005

2.2 Drenagem Urbana Sustentável

Para entender o conceito da drenagem sustentável é necessário voltar-se ao conceito primário de sustentabilidade, que segundo a Comissão Mundial para o Meio

Ambiente e Desenvolvimento, no relatório “*Nosso Futuro Comum*” (ONU, 1983): “O desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que encontra as necessidades atuais sem comprometer a habilidade das futuras gerações de atender suas próprias necessidades”. Essa definição engloba várias esferas como a social, econômico e ambiental.

Para um manejo integrado de recursos naturais deve-se incluir a sustentabilidade a nível de bacias hidrográficas e, portanto, o planejamento e gerenciamento de bacias hidrográficas deverá englobar os recursos naturais de toda a área da bacia, dando o suporte necessário para o desenvolvimento humano e natural, considerando o seu uso, ocupação e a sua potencialidade.

O conceito de drenagem urbana sustentável é algo recente dentro da temática de drenagem, e, segundo TUCCI (2005), baseiam-se no tripé:

1. Novos desenvolvimentos não podem aumentar a vazão de pico das condições naturais (ou prévias) – controle de vazão de saída;
2. Planejar o conjunto da bacia para controle de volume;
3. Evitar a transferência de impactos para jusante.

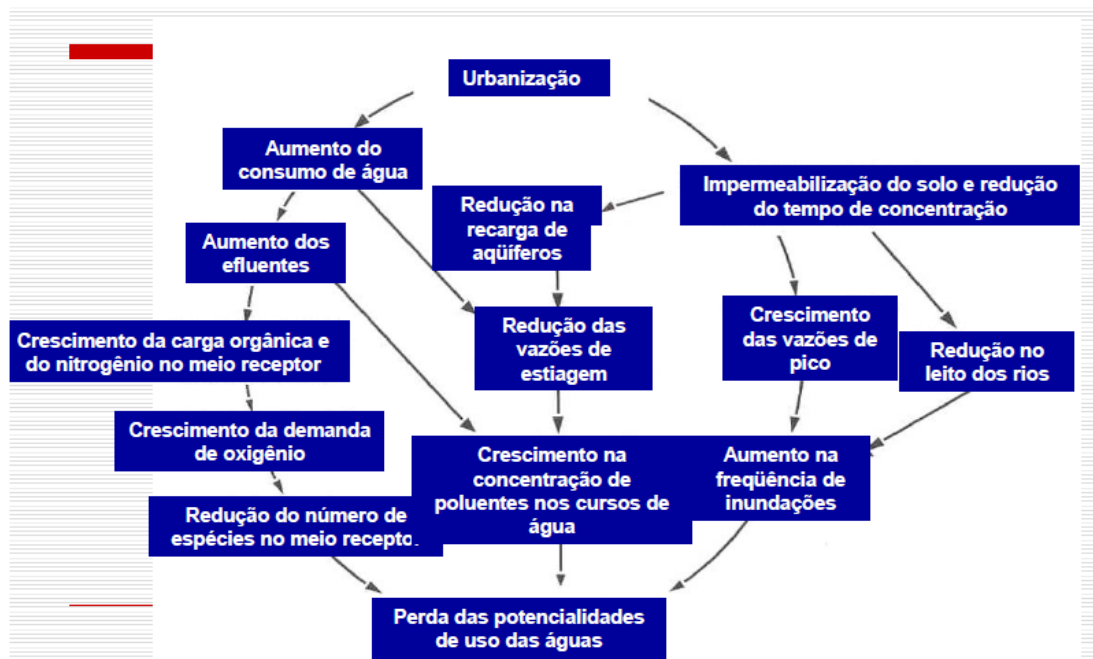


Figura 7: Fonte de Poluição Urbana.

Fonte: TUCCI, 2005

Segundo POMPEO (2000), a drenagem urbana sustentável é aquela que pressupõe a integração da água no meio urbano, e sua sincronização com o ciclo hidrológico, levando em consideração aspectos ecológicos, ambientais, paisagísticos e as oportunidades de lazer.

Portanto a ideia da sustentabilidade da drenagem vai contra o princípio higienista, que se baseia na canalização das vazões, aumentando sua velocidade de escoamento e a transferindo para jusante. O conceito da sustentabilidade visa ajustar por meio de modelagem hidráulica e uso dos solos uma maneira a mitigar o impacto da urbanização, ao mesmo tempo que tenta retomar as condições hidrológicas naturais do rio. Projetos de drenagem sustentável terem por objetivo em aumentar a qualidade de vida juntamente com a preservação ambiental.

A sustentabilidade requer a utilização dos picos de chuva e não somente sua transferência, portanto, em locais onde tais sistemas são aplicados, devem ser planejados de forma integrada com o crescimento urbano, isso é, integrada à paisagem urbana. Em local em fase de urbanização, sua aplicação torna-se mais viável, uma vez que pode ser englobada ao plano diretor e aplicada no início, de forma a preservar os solos, encostas e planejar obras que visem um equilíbrio hidrológico maior.

Em áreas já urbanizadas, com alto grau de impermeabilização, sua aplicação pode ser implantada tanto por meio de medidas estruturais quanto não-estruturais, levando em conta a premissa que as intervenções devem começar a montante da calha do rio, aumentando a eficiência da drenagem e reduzindo possíveis inundações em outros locais.

2.3 Sistema de Drenagem Pluvial

Pode-se dividir o sistema de drenagem entre a microdrenagem e a macrodrenagem.

A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais a nível de loteamento ou de rede primária urbana. Este tipo de sistema de drenagem é projetado para atender à drenagem de precipitações com risco moderado. (TUCCI, 1995)

O sistema da microdrenagem faz-se necessário para criar condições razoáveis de circulação de veículos e pedestres numa área urbana, por ocasião de ocorrência de chuvas frequentes, sendo conveniente verificar-se o comportamento do sistema para chuvas mais intensas, considerando-se os possíveis danos às propriedades e os riscos de perdas humanas por ocasião de temporais mais fortes.

Quanto a sua extensão não se dispõe de dados confiáveis em relação à drenagem urbana. Estima-se que a cobertura deste serviço - em especial a microdrenagem - atinja patamar superior ao da coleta de esgotos sanitários

O dimensionamento de uma rede de pluviais é baseado nas seguintes etapas:

1. Subdivisão da área e traçado;
2. Determinação das vazões que afluem à rede de condutos;
3. Dimensionamento da rede de condutos;
4. Dimensionamento das medidas de controle.

A macrodrenagem não utiliza o padrão de lotes, mas de áreas de drenagem maiores. Apesar do valor mínimo estipulado, cada malha urbana pode possuir diferentes configurações, de forma a exigir planejamentos diferentes.

As situações críticas de cheias e inundações, muitas vezes são fruto de uma macrodrenagem insuficiente agravadas pelo crescimento desordenado das cidades, em especial, a ocupação de várzeas e fundos de vales. De um modo geral nas cidades brasileiras, a infraestrutura pública em relação a drenagem, como em outros serviços básicos, apresenta-se como deficiente.

No Brasil, a microdrenagem é da competência dos governos municipais, quando se trata da macrodrenagem ou da interseção de ambas, amplia-se a competência para os governos estaduais, na medida em que crescem de relevância as questões de

macro drenagem, cuja referência fundamental para o planejamento são as bacias hidrográficas.

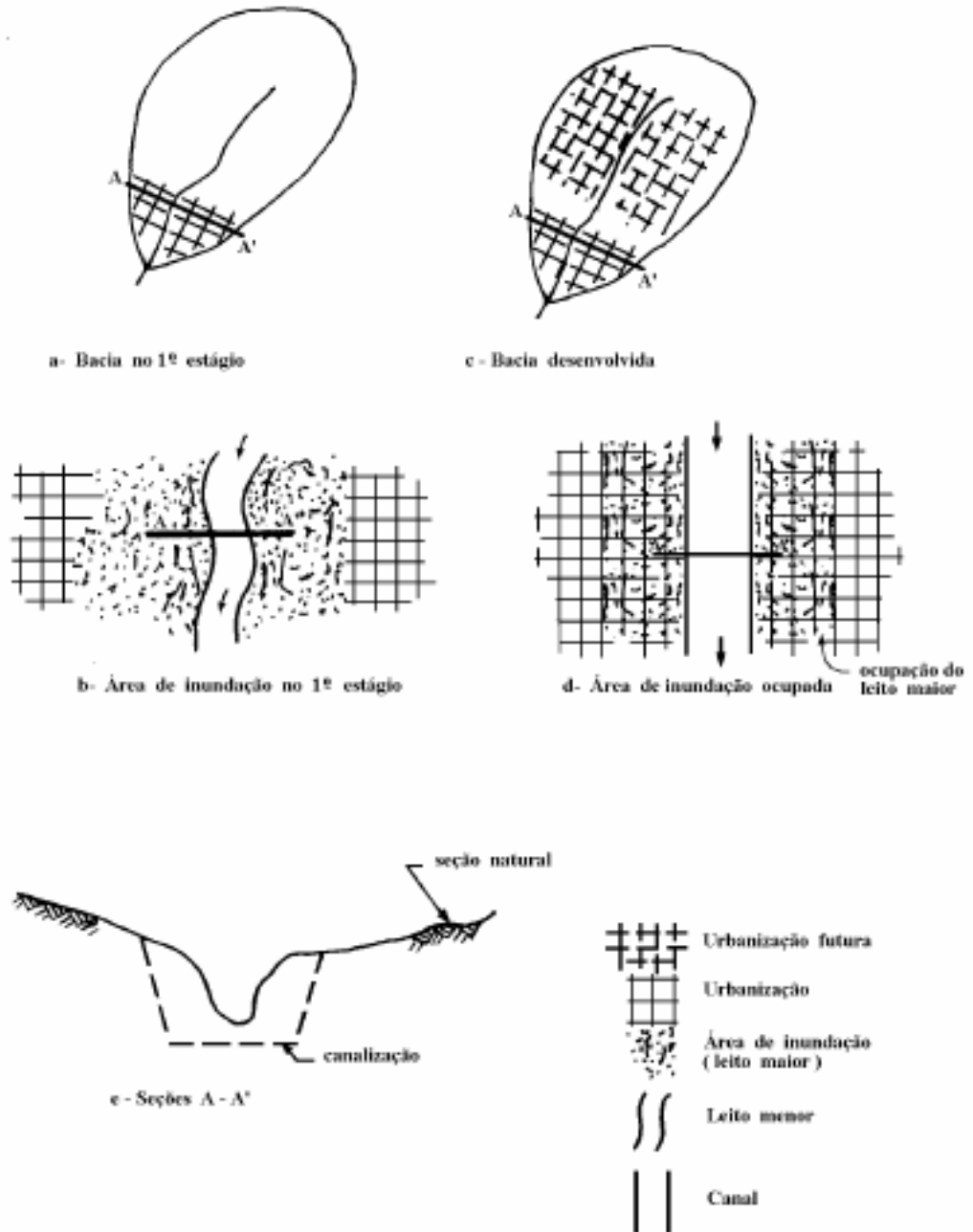


Figura 8: A ocupação da bacia hidrográfica e suas consequências

Fonte: Manual de drenagem urbana de Porto Alegre, 2009.

Um fator que deve ter protagonismo na questão da drenagem é o planejamento urbano, de forma que os projetos hidráulicos devem ser feitos dentro de um contexto abrangente de urbanização, para que se possa compatibilizar o crescimento das cidades com o projeto existente. Dessa forma, é possível delimitar as áreas com manchas de inundação e com isso diagnosticar a viabilidade de ocupação da área, ou estruturar uma melhor expansão do espaço urbano.

Um adequado sistema de drenagem, de águas superficiais ou subterrâneas, proporciona uma série de benefícios, tais como:

- Desenvolvimento do sistema viário;
- Redução de gastos com manutenção das vias públicas;
- Valorização das propriedades existentes na área beneficiada;
- escoamento rápido das águas superficiais, facilitando o tráfego por ocasião das precipitações;
- Eliminação da presença de águas estagnadas e lamaçais;
- Rebaixamento do lençol freático;
- Recuperação de áreas alagadas ou alagáveis;
- Segurança e conforto para a população habitante ou transeunte pela área de projeto

3 Estudo de Caso

3.1 Caracterização do Local

O município de Petrópolis, localizado na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro, possui uma área total de 776,6 km².



Figura 9: Mapa de Localização do município de Petrópolis.

Fonte: bioclimaufv.blogspot.com, acessado em 29 de outubro de 2013

O município possui no total 5 distritos, como mostra a Figura 10 a seguir. Todos os 5 distritos da cidade de Petrópolis apresentam histórico de eventos envolvendo enchentes, alguns inclusive catastróficos, como o conhecido evento de janeiro de 2011 que além do distrito de Itaipava, envolveu também outros municípios da região serrana, como Friburgo e Teresópolis.

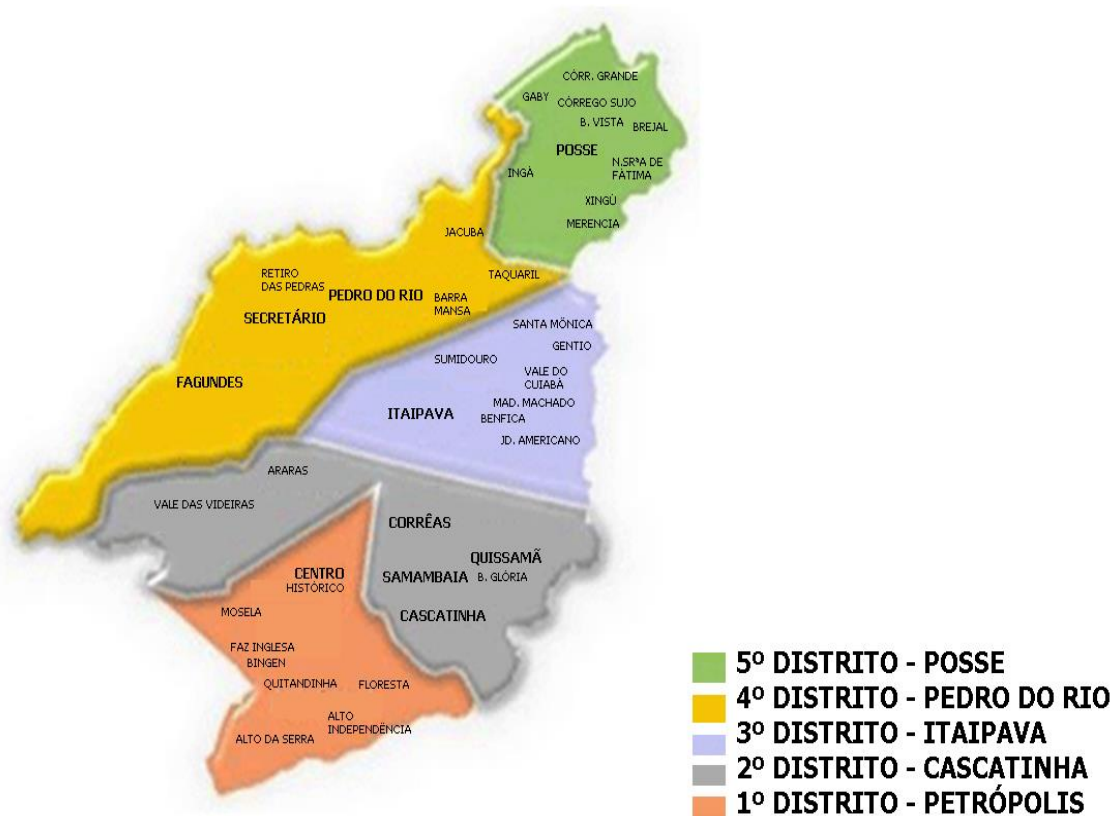


Figura 10: Mapa dos distritos de Petrópolis

Fonte: portalpetronews.blogspot.com, acessado em 30 de dezembro de 2013

Segundo as informações do curso do IBGE de 2010, o município de Petrópolis possui 295.917 habitantes, dos quais cerca 249.000 na área urbana, e a maior parte dessa população encontra-se no primeiro Distrito de Petrópolis.

A urbanização, no entanto, não ocorreu de forma planejada, de forma que a ocupação irregular e favelização é presente em grande parte do município de Petrópolis, e da bacia do rio Quitandinha, em questão. Para agravar a situação, a região possui um

histórico de chuvas frequentes, geralmente associadas a transbordamentos em regiões onde a profundidade da seção é reduzida devido ao assoreamento. O transbordamento geralmente é acompanhado por enchentes, sobretudo na Rua Coronel Veiga, e associados a intensos transtornos no tráfego de todo o centro de Petrópolis e bairros adjacentes, como mostra as Figuras 11 e 12.



Figura 11: Ponto crítico de inundação na Rua Coronel Veiga

Fonte: Própria



Figura 12: Transbordamento do Rio Quitandinha na Rua Coronel Veiga.

Fonte: aserra.com.br, acessado dia 02 de fevereiro de 2014.

3.1.1 Solo

O município de Petrópolis faz parte da Unidade Geomorfológica da Serra dos Órgãos, inserida na Região das Escarpas e Reversos da Serra do Mar, e segundo GUERRA (2007) o município de Petrópolis como um todo possui os seguintes percentuais de declividade:

Declividades	Percentual na área do município
Menores que 8%	5,15%
8- 20 %	9,72%
20-45 %	22,90%
45-75 %	35,70%
Superiores a 75 %	26,53%

Tabela 2: percentuais de declividade do Município de Petrópolis.

Elaboração com base em Guerra, 2007

A avaliação desse resultado mostra que a cidade contém um predomínio de relevo montanhoso e escarpado, e ainda assim, a expansão urbana ocorre de forma irregular ou através de invasões em áreas extremamente sujeitas a riscos de desabamentos e enchentes.

A população tem apresentado uma crescente ocupação de áreas de risco, tanto em encostas quanto em regiões de vale dentro de planície de inundação. Somado a isso, o desmatamento de áreas de encostas, deixa os solos mais pobres e suscetíveis a escorregamentos, de forma que na cidade de Petrópolis, tal como em Teresópolis, Friburgo e outros municípios da região serrana, as catástrofes quase sempre são uma combinação de enchentes, escorregamentos e enxurradas.

Um estudo socioeconômico realizado com base no levantamento feito em 1994 apresenta os seguintes percentuais de ocupação do solo no município de Petrópolis:

Tipo de uso do solo	Percentual
Floresta Ombrófila Densa	33%
Vegetação Secundária	35%
Área Urbana	6%
Pastagens	18%
Área Degradada	3%
Afloramento Rochoso	5%

Tabela 3: Percentuais de ocupação do uso do solo em Petrópolis em 1994.

Elaboração baseada em dados do Estudo Socioeconômico, TCE, 2003.

A investigação realizada com o mesmo propósito em 2001, mostrou, no entanto, que o território florestal foi reduzido a apenas 13% do território, as pastagens

aumentaram para 37%, e a área urbana para 10%, como pode ser vista a tabela comparativa a seguir.

Tipo de uso do solo	Percentual em 1994	Percentual em 2001
Floresta Ombrófila Densa	33%	13%
Vegetação Secundária	35%	35%
Área Urbana	6%	10%
Pastagens	18%	37%
Área Degradada	3%	*
Afloramento Rochoso	5%	*

Tabela 4: Comparação de percentuais de ocupação do uso do solo em Petrópolis em 1994 e 2001. Elaboração baseada em dados do Estudo Socioeconômico, 2003.

***Dados não disponíveis**

É necessário pontuar que se tratando do primeiro distrito de Petrópolis, onde encontra-se a bacia do Rio Quitandinha, há a maior concentração de urbanização do município, e que ao longo de 13 anos desde que o estudo foi realizado este percentual provavelmente sofreu aumento.

3.1.2 Clima e hidrologia

Uma classificação climática muito utilizada é a de Köppen, 1990 (apud ICMBIO 2007), que estabelece possíveis grupos climáticos baseados em temperatura, relevo e regime de chuva entre outros, como mostrado na tabela a seguir.

Primeira Letra	Segunda Letra	Terceira Letra
A: climas megatérmicos (temperatura média do mês mais frio superior a 18°C)	f: sempre úmido (mês menos chuvoso com precipitação superior a 60mm) m: monçônico e predominantemente úmido	-
	s: chuvas de inverno (mês menos chuvoso com precipitação inferior a 60mm) w: chuvas de verão (mês menos chuvoso com precipitação inferior a 60mm)	
B: climas secos (chuvas anuais abaixo de 500mm)	S: clima semi-árido (chuvas anuais entre 250 e 500mm) W: clima árido ou desértico (chuvas anuais menores que 250mm)	h: deserto ou semi-deserto quente (temperatura anual média igual ou superior a 18°C) k: deserto ou semi-deserto frio (temperatura anual média inferior a 18°C)
C: climas mesotérmicos (temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e superior a -3°C, ao menos um mês com média igual ou superior a 10°C)*	f: sempre úmido (mês menos chuvoso com precipitação superior a 60mm) m: monçônico e predominantemente úmido s: chuvas de inverno (mês menos chuvoso com precipitação inferior a 60mm) w: chuvas de verão (mês menos chuvoso com precipitação inferior a 60mm)*	a: verões quentes (mês mais quente com média igual ou superior a 22°C) b: verões brandos (mês mais quente com média inferior a 22°C)* c: frio o ano todo (no máximo três meses com médias acima de 10°C)
D: climas microtérmicos (temperatura média do mês mais frio igual ou inferior a -3°C, ao menos um mês com média igual ou superior a 10°C)	f: sempre úmido (mês menos chuvoso com precipitação superior a 60mm) m: monçônico e predominantemente úmido s: chuvas de inverno (mês menos chuvoso com precipitação inferior a 60mm) w: chuvas de verão (mês menos chuvoso com precipitação inferior a 60mm)	a: verões quentes (mês mais quente com média igual ou superior a 22°C) b: verões brandos (mês mais quente com média inferior a 22°C) c: frio o ano todo (no máximo três meses com médias acima de 10°C)
E: climas polares (temperatura média de todos os meses do ano inferior a 10°C)	T: clima de tundra (pelo menos um mês com temperaturas médias entre 0°C e 10°C) F: clima de calota de gelo (todos os meses do ano com médias de temperatura inferiores a 0°C)	-

Tabela 4: Classificação climática de Köppen.

Fonte: ICMBIO, 2007.

No Brasil estão presentes os climas:

- Cfa (inverno frio e verão quente);
- Cfb (climas mesotérmicos, úmido e verão brando);
- Cwa (temperaturas moderadas com verão quente);
- Cwb (inverno frio e verão brando);
- Awa (temperaturas elevadas com chuvas de verão);
- Bsh (semiárido com temperaturas elevadas).

O clima de Petrópolis encontra-se localizado na classificação **Cfb**, ou seja, clima mesotérmico sempre úmido, com chuvas de verão e verões brandos (climate-data.org, acessado em 22 de março de 2014). Mais popularmente conhecido como clima tropical de altitude com verões frescos e chuvas típicas da estação, com muito pouca presença da estação seca.

NIMER (1989 apud GUERRA, 2007) classifica o clima da região como mesotérmico brando superúmido, com temperaturas média de 18,4° (climate-data.org, acessado em 22 de março de 2014), e umidade relativa de cerca de 83% ao longo de todo o ano.

A determinação do padrão climático no município ocorre por uma combinação de sua posição geográfica com o relevo montanhoso e a proximidade do oceano. (NIMER, 1989 apud GUERRA, 2007)

O relevo presente no município atua como barreira para umidade vinda do mar, ao passo que a massa de ar perde temperatura com a altitude, o que contribui para um cenário de chuvas frequentes e por vezes extremamente fortes.

A pluviosidade média anual da cidade, segundo o ICMBIO (2007) varia entre 1500mm e 2600mm.

Os gráficos abaixo mostram as médias climáticas e de temperatura e pluviosidade ao dos últimos anos.

Gráfico climático

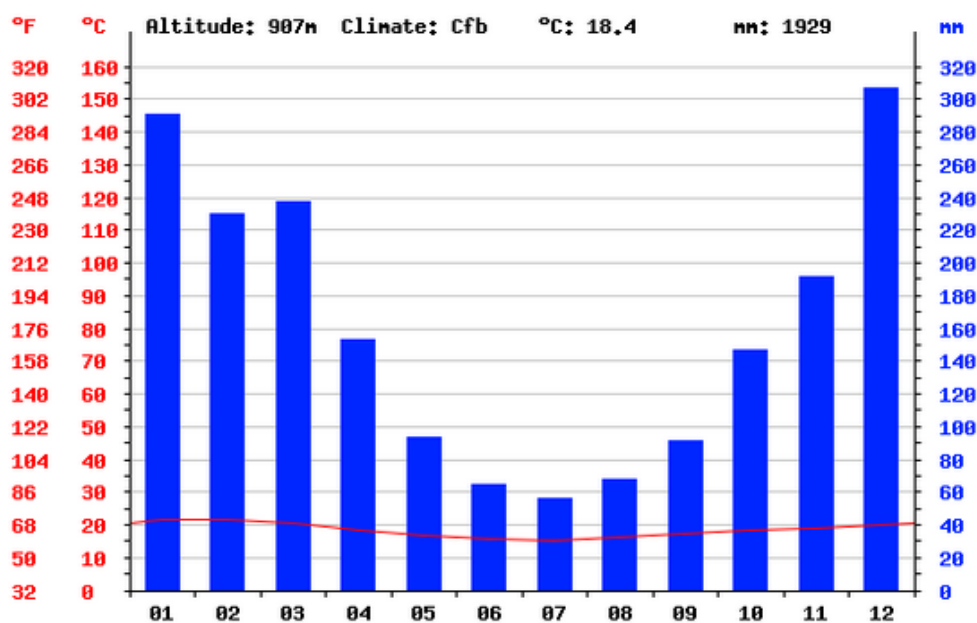


Gráfico 3: Médias de temperatura e pluviosidade em Petrópolis.

Fonte: climate-data.org, acessado em 22 de março de 2014

3.1.3 Hidrografia

A hidrografia de Petrópolis apresenta-se prioritariamente com as bacias dos rios Quitandinha, Palatinato e Piabanha. Os rios Quitandinha e Palatinato tem seu início e termino dentro do primeiro distrito de Petrópolis, enquanto o Piabanha tem seu início no primeiro distrito e segue até o Município de Três Rios, pelos segundo, terceiro e quinto distrito.

A Figura 13 a seguir mostra um esquema dos rios presentes no primeiro distrito de Petrópolis.

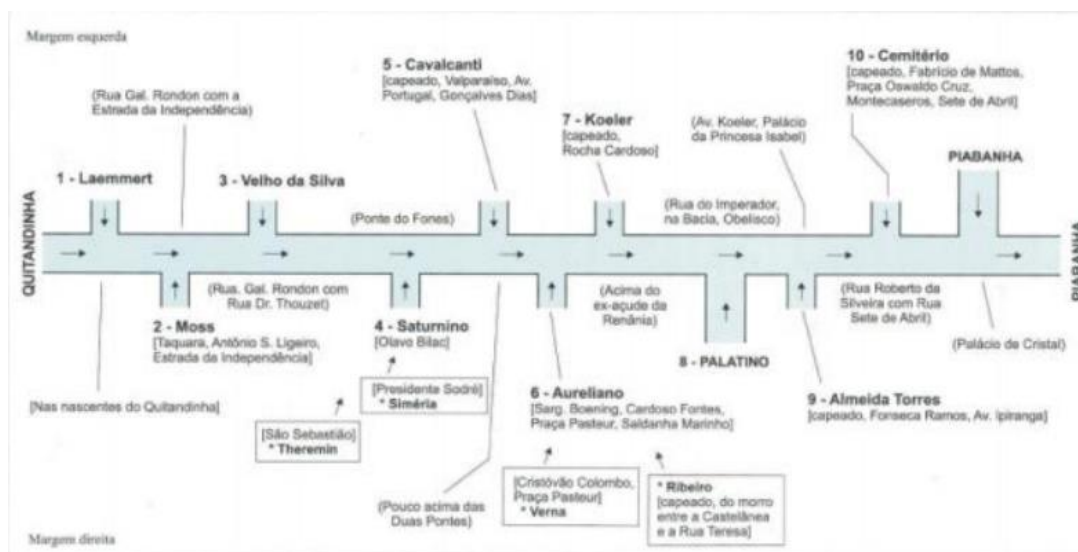


Figura 14:Esquema de recebimento de afluentes do Rio Quitandinha.

Fonte: Prefeitura de Petrópolis, 2013.

3.1.4 Histórico de Drenagem

O plano urbanístico do Major Frederico Köeler, na época, foi causar poucos danos ambientais, de forma que o crescimento urbano não comprometesse a paisagem natural da cidade, e no entanto, isso foi comprometido pelo fato de que a ocupação começou a ocorrer ao longo do curso dos rios Palatinato, Quitandinha e Piabanha. (RABAÇO, 1985 apud GUERRA, 2007)

Köeler não limitou-se a projetar a cidade, mas, segundo a interpretação de RABAÇO (1985 apud GUERRA, 2007), o engenheiro formulou o que seria o primeiro código de obras da cidade de Petrópolis, que entre suas recomendações, encontravam-se:

- Os lotes seguiam-se ao longo dos rios e tinham mais profundidade que largura (55m x 110m), subindo as encostas dos morros, adaptando-se à topografia acidentada;

- Era proibido utilizar o topo dos morros; proibida também a subdivisão dos lotes; as áreas com maior declividade não poderiam ser ocupadas, preservando-se a sua cobertura vegetal para evitar deslizamentos;
- Os proprietários tinham que plantar árvores nativas na testada dos terrenos; realizar a construção de calçada com 2,20 m de largura em alvenaria, no prazo de 1 ano e em pedra, no prazo de 8 anos;
- Obrigação de cercar ou murar solidamente os lotes de terra, dentro de um ano, no máximo;
- Prévia aprovação das fachadas dos prédios;
- Obrigação de construir dentro de 2 a 4 anos;
- Aos proprietários exigia-se que fosse conduzida a água dos telhados para as ruas, por meio de canos;
- Todas as residências faziam frente para os rios, sendo que os esgotos seriam lançados em fossas no fundo dos terrenos, distantes dos cursos d'água, evitando-se assim qualquer tipo de contaminação dos mesmos.

Fonte: GUERRA, 2007

O planejamento realizado ainda na época do Império levava em conta aspectos ambientais, mas não foi suficiente pelo fato que a ocupação do território petropolitano alcançou níveis muito a cima dos esperados, e o plano de não ocupar encostas e não lançar esgotos nos rios foi sendo seguido ao longo dos anos.

3.2 Bacia Hidrográfica do Rio Quitandinha

A bacia hidrográfica do Rio Quitandinha compreende os bairros Quitandinha, Siméria, Independência, Castelânea, Valparaíso e Alto da Serra, além de parte do centro da cidade de Petrópolis, no estado do Rio de Janeiro, e encontra-se situada dentro da APA de Petrópolis. A localização e contorno da bacia encontra-se na Figura 15.

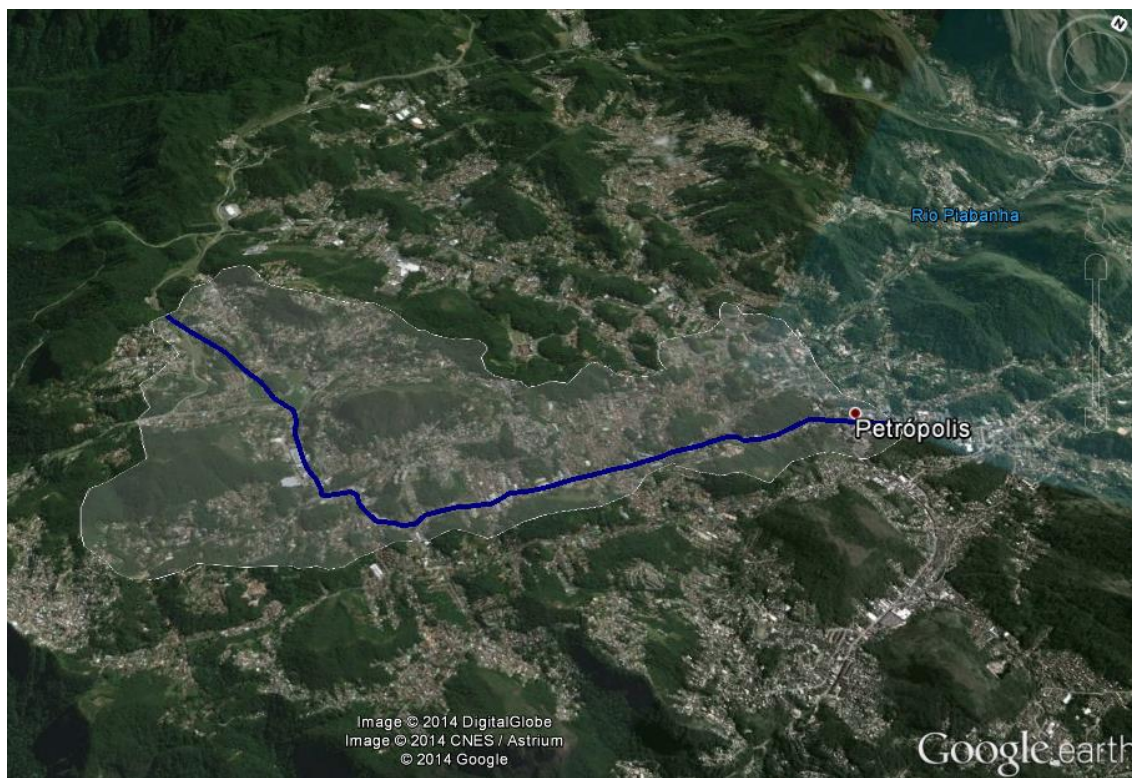


Figura 15: delimitação da bacia hidrográfica em KMZ.

Fonte: Arquivo pessoal do professor Sergio Alonso.

A área da bacia que localiza-se dentro da APA, no entanto, encontra-se com ocupação urbana, inclusive em áreas próximas a corpos d'água, nascentes e áreas com inclinação superior a 45°, apesar da proibição do código florestal. (Ministério do Meio Ambiente, 2011)

O rio Quitandinha, atravessa uma área bastante urbanizada em seu percurso até o centro da cidade. Desenvolve-se ao longo da Rua Coronel Veiga, que possui seção de escoamento extremamente reduzida em alguns trechos e com inúmeras travessias de ruas, de acesso a residências e estabelecimentos comerciais, algumas delas estreitando ainda mais a seção do canal. Sua calha está frequentemente sujeita a transbordamentos, encontra-se confinada entre muros limitados pela rua Cel. Veiga e pelas edificações de forma que não oferece condições de receber as adequações necessárias para fazer frente às enchentes. Deve-se ressaltar ainda que qualquer alteração na canalização do rio Quitandinha torna-se complexa, pois ele se desenvolve em vias altamente utilizadas, que tem a função de ligar cerca de 5 bairros ao centro de Petrópolis e via de acesso à saída

da cidade pela BR-040, principal acesso à cidade do Rio de Janeiro e que segue até Brasília.

A figura 16 mostra a nascente do Rio Quitandinha, que encontra-se já na rodovia BR-040, de onde o rio segue percorrendo um estirão de cerca de 6,80 km até a confluência com o rio Palatinato, drenando uma bacia com área total de 11,2 km². Em seu curso drena parte dos bairros Quitandinha, Cremerie, Castelânia e o centro da cidade de Petrópolis. No Centro, próximo ao Obelisco, se junta ao rio Palatinato, formando o chamado canal do Centro, que deságua no rio Piabanha, que irá seguir para a região de Correias e Nogueira.

Nascente do Rio Quitandinha, BR - 040



Figura 16: Nascente do Quitandinha

Fonte: Própria

Os principais afluentes do rio Quitandinha são: o rio Cremerie, o córrego Saturnino e o rio Aureliano, todos pela margem direita.

Na Avenida Coronel Veiga, o Quitandinha possui seção transversal retangular, com largura variada, fundo em solo e muros laterais de pedra e de concreto armado. Além da impossibilidade de alargamento de sua calha, já que a margem direita encontra-se ocupada pela rua e a esquerda pela presença de casas e estabelecimentos

comerciais, o rio também sofre com o assoreamento do canal que torna todo seu percurso com profundidade limitada.



Figura 17: Seção assoreada, com despejo de esgoto

Fonte: Própria

4 Projeto

O projeto vai consistir em três soluções integradas, que tem por objetivo amenizar a vazão que chega no Rio Piabanha, a fim de procurar evitar enchentes de um tempo de retorno de 10 anos. Por tratar-se de um projeto de drenagem sustentável duas premissas serão levadas em consideração neste projeto:

1. A solução não será baseada em transferir mais rapidamente a vazão a jusante do Rio Quitandinha, para evitar que o problema de enchentes seja apenas transferido para outro local;
2. O projeto levará em conta a urbanização da área, de forma que a solução terá também seu valor turístico e de uso da população adjacente.

O projeto, portanto, irá ser constituído de duas bacias de retenção e um trecho de trincheiras de infiltração colocados dentro da bacia do rio Quitandinha.

O primeiro local escolhido para a implantação de uma bacia de retenção encontra-se dentro da bacia hidrográfica onde hoje encontra-se um terreno baldio, próximo ao Lago Quitandinha, ponto turístico da cidade. O local escolhido, segundo relato de moradores, antigamente era um lago usado de forma recreativa. Nos dias de hoje o terreno encontra-se tomado pela vegetação, e no entanto ainda passa por ele o curso retificado do rio Quitandinha, que nesse trecho ainda é um pequeno corpo d'água. A rua entre o terreno e o Lago Quitandinha é uma ponte. Dessa forma, acreditamos que o projeto vai apenas aproveitar uma função de regulação hídrica que já existe nesta área, e não intervir com uma solução artificial.

O segundo local será colocado às margens do Rio Cremerie (ou Rio Moss), afluente do Rio Quitandinha pela margem direita. A bacia será construída parte no estacionamento do Parque Cremerie, local de recreação da cidade, e parte na entrada no parque.

A terceira solução será adotada levando em consideração que as duas medidas anteriores, dadas as limitações de área, deixaram uma vazão remanescente para prevenir

as enchentes, e consistirá em implantar um trecho de trincheiras de infiltração ao longo das vias que encontram-se dentro da bacia.

As figuras 18 e 19 mostram com detalhes os dois terrenos, e o mapa da figura 20 sua localização.



Figura 18: Terreno escolhido para a bacia 1.

Fonte: Google Earth, consultado dia 15 de maio de 2014.

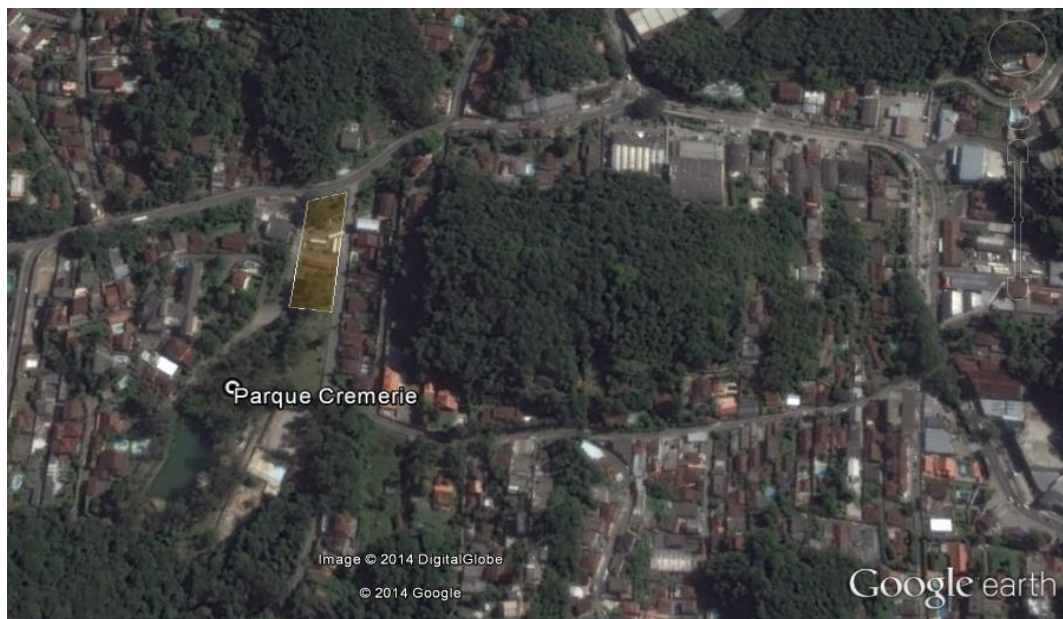


Figura 19: Terreno escolhido para a bacia 2.

Fonte: Google Earth, consultado dia 15 de maio de 2014.

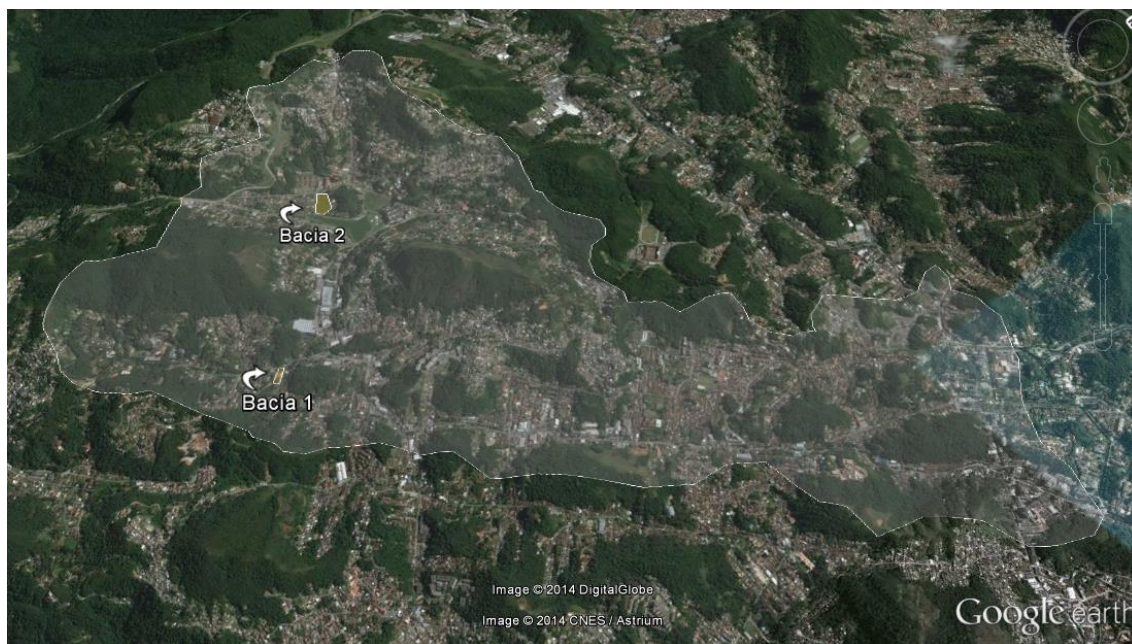


Figura 20: Localização das bacias de retenção.

Fonte: Google Earth, consultado dia 10 de junho de 2014.

4.1 Bacia de Retenção

Trata-se de obras hidráulicas com o objetivo de armazenar águas pluviais durante um intervalo de algumas horas, a fim de retardar sua chegada na rede de drenagem. O objetivo dessas estruturas é promover o amortecimento de cheias e a redução da poluição difusa pluvial. (RADESCA et SVAB, 2011)

Os reservatórios serão posteriormente esvaziados em um tempo mínimo de 24 e máximo de 48h, para evitar a proliferação de vetores no local. (TOMAZ, 2010)

O reservatório deve ser projetado com um revestimento impermeável, e deve conter um dispositivo de saída da água, além de um vertedouro de segurança.

Este tipo de solução permite que a solução de drenagem seja combinada com uma medida de viés urbanístico, e ter utilidade na época de poucas chuvas quando não estiver sendo utilizada para essa função. Fora da época de chuvas, o espaço pode ser

utilizado como estacionamento, espaço de recreação ou quadra esportiva, por exemplo, como mostra a Figura 22.



Figura 21: Bacia de detenção em São Paulo

Fonte: www.aguaspluviais.inf.br, consultado dia 10 de junho de 2014.

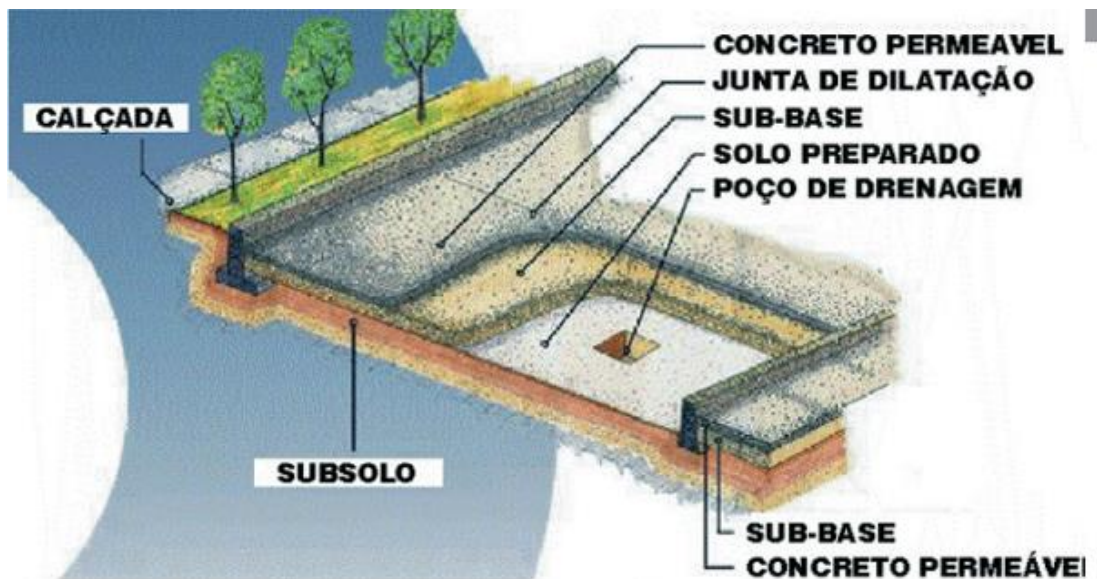


Figura 22: Esquema de bacia de detenção.

Fonte: blogdopetcivil.com, consultado dia 10 de junho de 2014.



Figura 23: Bacia de detenção – quadra esportiva.

Fonte: BAPTISTA, 2007.

4.2 Trincheira de Infiltração

Trincheiras de infiltração são dispositivos capazes de coletar o escoamento superficial ainda em sua origem, armazená-lo e infiltra-lo gradativamente no solo, a fim de garantir a recarga no corpo hídrico. Trata-se de uma caixa parcialmente preenchida, com paredes e cobertura permeáveis capaz de coletar a água de chuva e ir liberando-a aos poucos.

Os espaços que contém trincheiras de infiltração em ambientes urbanos, destoam dos demais ambientes, devido baixíssima capacidade de infiltração que os solos urbanos geralmente apresentam.

Existem muitas opções de trincheiras, e a escolhida para ser usada neste projeto terá as seguintes características:

- Serão colocadas em locais de calçada apenas;
- Serão subterrâneas;
- Serão preenchidas com brita.

O preenchimento com brita, ou algum outro material, tem por objetivo garantir estabilidade da superfície em que a trincheira é instalada.

As trincheiras podem ter sua cobertura feita de *concregrama* ou algum outro material, fazendo com que sua utilização, além dos benefícios da infiltração, tenham também uma apresentação agradável, como pode ser observado na Figura 26.

Com sua capacidade limitada, é aconselhável que esta medida seja combinada com outras soluções de maior capacidade.

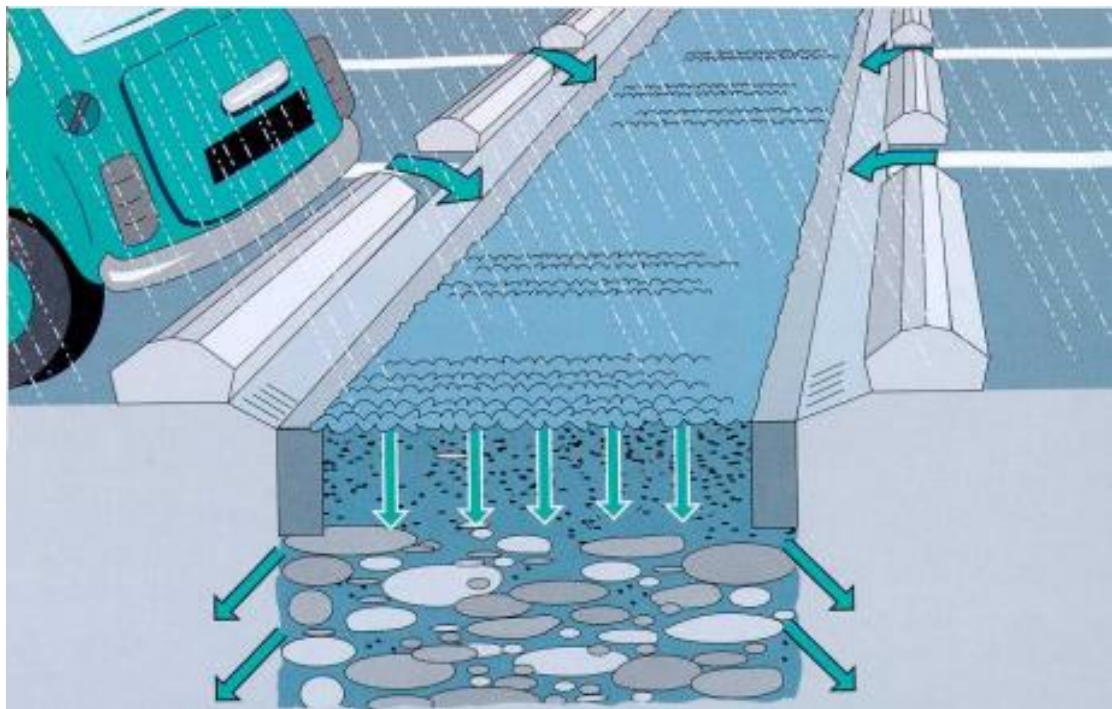


Figura 24: Esquema funcional da trincheira de Infiltração.

Fonte: BAPTISTA, 2007.



Figura 25: Exemplo de Trincheira de Infiltração em calçada. Fonte: BAPTISTA, 2007.



Figura 26: Exemplo de Utilização de Concregrama.

Fonte: www.tecpavi.com.br, acessado em 30 de junho de 2014

4.3 Estudo Hidrológico

A metodologia de cálculos hidrológicos para determinação das vazões de projeto será definida em função das áreas das bacias hidrográficas, segundo a recomendação da IS-203 - Estudos Hidrológicos, do DNIT, a seguir indicadas:

- Método Racional: usado para áreas de até 1ha (0,01km²);
- Método Racional Modificado (Kirpich): usado para áreas maiores do que 0,01km² e menores que 10km²;
- Método do *U.S. Soil Conservation Service*, conhecida como método do Hidrograma Unitário Triangular (HUT): usado para áreas maiores que 10km².

(DNIT, 2005)

Os métodos utilizados serão descritos a seguir.

4.3.1 Método Racional

O Método Racional calcula vazões de bacias de até 1,00km², segundo a equação:

$$Q = 0,278 \times c \times I \times A \quad (1)$$

Onde:

Q é descarga de projeto, em m³/s;

C é o coeficiente adimensional de escoamento superficial (*runoff*);

I é a intensidade média da precipitação sobre a bacia, em mm/h;

A é a área de bacia drenada, em km²;

0,278 é o fator de conversão de unidades.

A Intensidade Pluviométrica adotada para a localidade foi obtida através da equação IDF, (Intensidade-Duração- Frequência), descrita por:

$$i = \frac{k \times T^a}{(t + b)^c} \quad (2)$$

Onde:

T é o tempo de recorrência, em anos;

t é o tempo de concentração, em minutos;

a, b, c e k são constantes relativas a localidade

Para determinar os valores de a, b, c e d, foi utilizado o software *Plúvio 2,1*, desenvolvido na Universidade Federal de Viçosa, que calcula estes parâmetros através da análise das séries histórica do posto pluviométrico “*Rio da Cidade*”, em Petrópolis.

Os valores obtidos foram:

K = 9756,845;

a = 0,212;

b = 41,620;

c = 1,140.

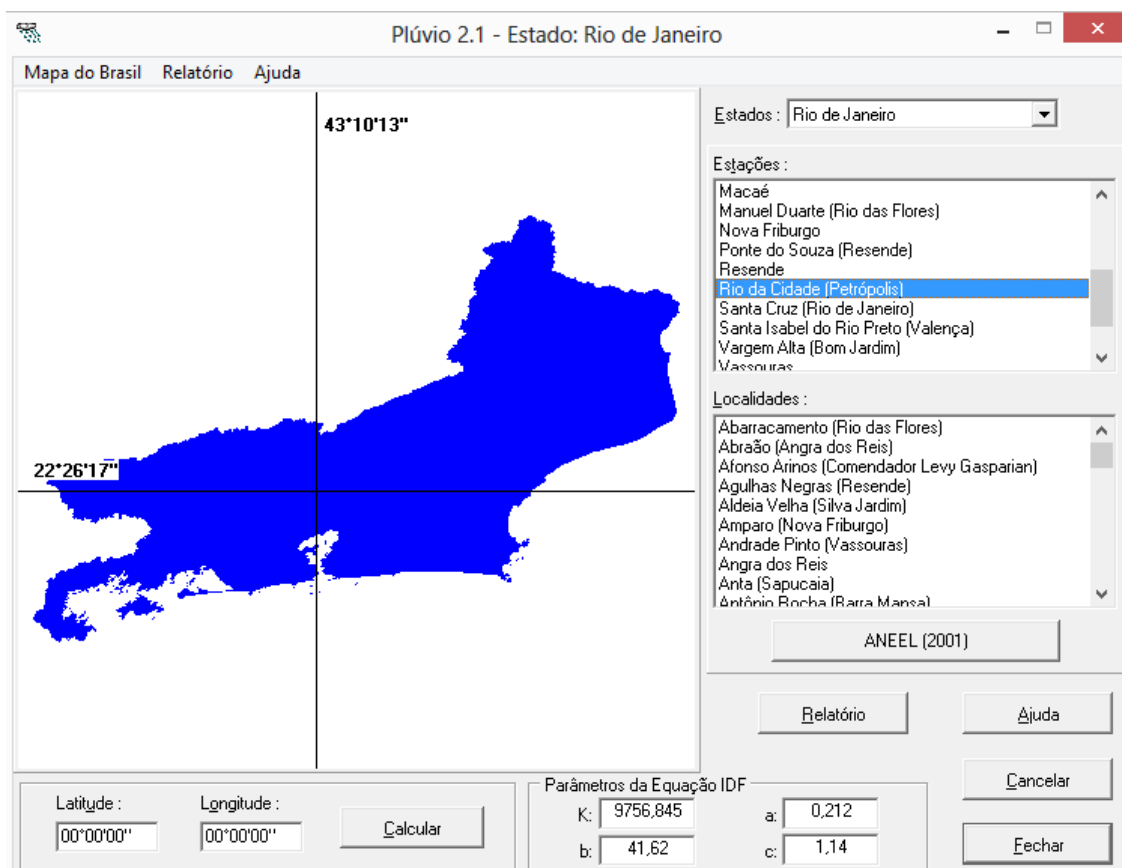


Figura 27: Parâmetros para a equação IDF, software *Plúvio 2.1*

Fonte: GPRH, UFV

4.3.2 Método racional Modificado (Kirpich)

Este método é utilizado no caso de calcular vazões cuja área seja maior do que 1,00 km², a fim e corrigir as distorções causadas pela distribuição de chuvas em áreas mais extensas. Este método consiste em adicionar fatores de distribuição sobre vazões calculadas pelo método racional.

A vazão Q , em m³/s, é então, calculada por:

$$Q = 0,278 \times c \times I \times A \times n \quad (3)$$

Onde:

C é o coeficiente adimensional de escoamento superficial (*runoff*);

I é a intensidade média da precipitação sobre a bacia, em mm/h;

A é a área de bacia drenada, em km²;

0,278 é o fator de conversão de unidades.

O fator de distribuição, ou coeficiente de distribuição mais utilizado é o fator n , tal que:

$$n = A^{-0,10} \quad (4)$$

A = área da bacia, em km².

Pelo método racional modificado de Kirpich calcula-se o tempo de concentração da vazão dentro da bacia, em horas, através da fórmula:

$$t_c = 1,42 \times \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (5)$$

Onde:

L é o comprimento percorrido pela vazão, em m;

H é o máximo desnível, em m

4.3.3 Método do Hidrograma Unitário do “U. S. Soil Conservation Service”

Este método determina a descarga de uma bacia hidrográfica através do hidrograma triangular composto, que é o resultado da somatória das ordenadas de histogramas unitários, para cada intervalo temporal de discretização da chuva.

Para cada intervalo temporal obtém-se o escoamento correspondente à chuva excedente neste período, em função das curvas de deflúvio – CN. A partir dos escoamentos obtidos, são definidos os hidrogramas para cada intervalo. Da composição dos hidrogramas, por convolução, resulta o hidrograma final de cheia, cujo pico corresponde ao valor da vazão de projeto.

As seguintes hipóteses são adotadas para a aplicação do método:

- A intensidade da chuva efetiva é constante durante a tormenta que produz o HUT;
- A chuva efetiva é uniformemente distribuída em toda a área de drenagem da bacia;
- Tempo base ou tempo de duração do hidrograma do deflúvio superficial direto devido a uma chuva efetiva de duração unitária é constante;
- As ordenadas de hidrogramas de deflúvio superficial direto, com tempo base comum, são diretamente proporcionais aos volumes desses hidrogramas;
- Os efeitos de todas as características de uma dada bacia de drenagem, incluindo forma, declividade, detenção, infiltração, rede de drenagem, capacidade de armazenamento do canal, etc., são refletidos na forma do hidrograma unitário da bacia.

A vazão de pico do hidrograma unitário (Q_p), é definida para uma chuva efetiva igual a 1 mm de altura e para um tempo unitário (D_u) determinada por:

$$Q_p = \frac{2,08 \cdot A}{t_p} \quad (6)$$

Onde:

A é a área

t_p é o tempo de pico, em horas, dado por:

$$t_p = \frac{D_u}{2} + 0,6 \cdot t_c \quad (7)$$

Onde:

D_u é igual ao tempo de concentração dividido por 7,5, ou:

$$D_u = 0,133 \cdot t_c \quad (8)$$

t_c é o tempo de concentração em horas, calculado pelo Método Racional Modificado de Kirpich, como citado na seção 4.1.2.

Após o cálculo da vazão, é montado um gráfico de vazão em função do tempo, como mostra a Figura 28. O volume gerado é determinado pela área sob o gráfico.

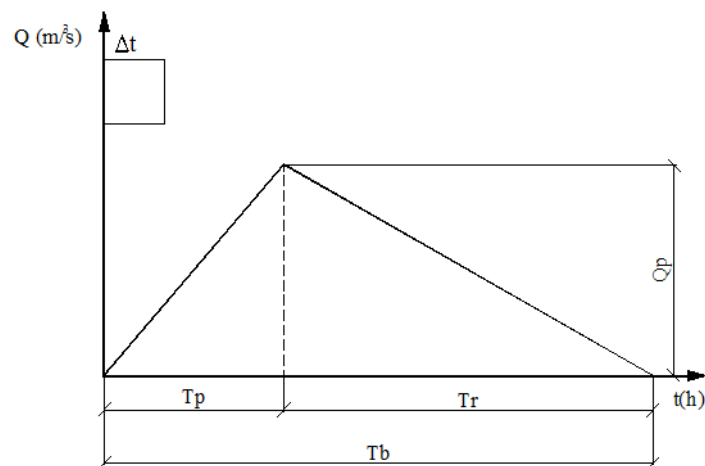


Figura 28: Representação gráfica do hidrograma unitário triangular.

Fonte: Própria

Diferentemente do método racional e do racional modificado apresentados anteriormente, a vazão de água de chuva, ou deflúvio, não é determinada em função de um coeficiente *c* de *runoff*, mas de um coeficiente Curva-Número (CN), determinado de acordo com o tipo de solo e cobertura da superfície.

Os valores de CN podem variar de 1 a 100, e podem ser determinados por meio de uma tabela elaborada pelo DNIT (2005).

Para determinar o valor do CN, os tipos de solo foram divididos em 4 diferentes grupos:

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, a 1,2 e 1,5%. Não pode haver pedras e nem camadas argilosas até 1,5 m, mas é quase sempre presente camada mais densificadas que a camada superficial.

Grupo C – solos barrentos com teor 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.

Após a determinação do tipo de solo de acordo com os grupos descritos, é apresentada uma tabela que relaciona os quatro grupos com o tipo de cobertura do solo e o valor de CN correspondente. O valor final do coeficiente CN é obtido a partir da

média ponderada do valor de cada uso do solo pelo percentual que ocupa. A tabela de valores de CN é apresentada a seguir.

**Número de Curva (CN) para Diferentes
Condições do Complexo Hidrológico**

Solo - Cobertura Vegetal					
Para Condição de Umidade Antecedente II (Média) E $I_a = 0,2s$					
Cobertura Vegetal	Condição de Retenção Superficial	Grupo Hidrológico do Solo			
		A	B	C	D
Terreno não Cultivado com Pouca Vegetação	Pobre	77	86	91	94
Terreno Cultivado	Pobre	72	81	88	91
	Boa	51	67	76	80
Pasto	Pobre	68	79	86	89
	Boa	39	61	74	80
Mata ou Bosque	Pobre	45	66	77	83
	Boa	25	55	70	77
Área Urbana	Pobre	74	80	87	90
	Boa	70	76	83	86

Tabela 5: Numero de Curva CN.

Fonte: DNIT, 2005.

A precipitação bruta é medida pela fórmula:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}, \quad \text{se } P > I_a \quad (9)$$

$$P_e = 0, \quad \text{se } P \leq I_a$$

Onde:

I_a é abstração inicial, em mm;

P é precipitação bruta obtida para duração crítica, reordenada e acumulada, em mm;

S é a retenção potencial máxima no solo, em mm;

Onde:

$$I_a = 0,20 \times S \quad (10)$$

e

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (11)$$

Após a determinação do hidrograma unitário e da chuva de projeto, é aplicada a equação da convolução, para a determinação dos hidrogramas de projeto, segundo a equação:

$$Q_n = \sum_{m=1}^{n \leq m} P e_m \times U_{n-m+1} \quad (12)$$

Onde:

$P e_m$ são os excessos de chuva em cada evento m ;

U_{n-m+1} é o hidrograma unitário de cada ordenada n .

4.4 Análise da Atual Situação

Diante da situação visível das inúmeras enchentes que ocorrem dentro da bacia hidrográfica do Rio Quitandinha, a presente seção tem por objetivo quantificar a vazão que chega ao rio e compará-la com a capacidade hidráulica do canal existente.

4.4.1 Vazão gerada na bacia do Rio Quitandinha

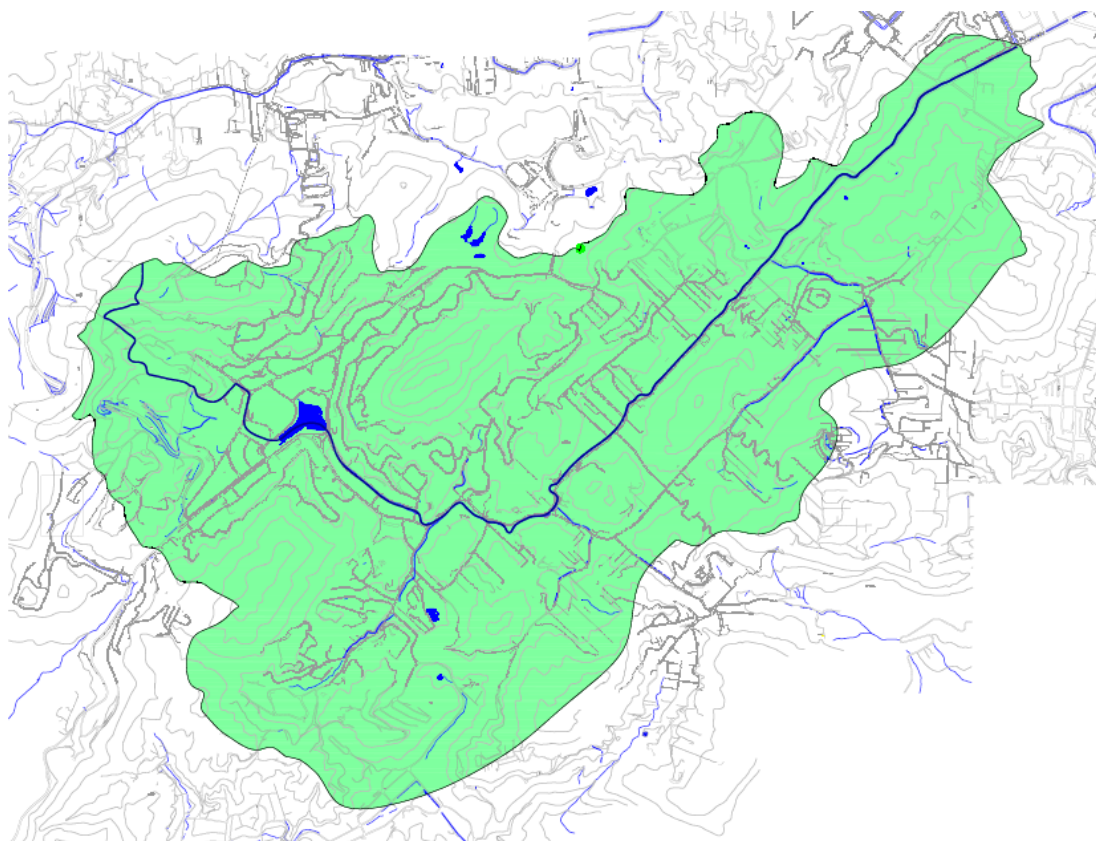
Os dados físicos da bacia do Rio Quitandinha foram obtidos a partir de medições realizadas no AutoCad, sobre uma base do IBGE, com detalhamento de 1:2000 como mostra a imagem a seguir. Por motivos de maior nitidez, a imagem a seguir apresenta apenas hidrografia, arruamento e curvas de nível de 50 em 50 metros, além da bacia do Rio Quitandinha.

Os dados obtidos através dessa medição são mostrados na tabela.

Dados da bacia do Rio Quitandinha	
Área	11,138 Km ²
Comprimento do talvegue	7,703 Km
Cota inicial	1.068 m
Cota final	808 m
Desnível	277 m
Declividade	0,0357 m/m

Tabela 6: Dados da bacia do Rio Quitandinha.

Elaboração própria.



**Figura 29: Bacia do Rio Quitandinha, traçada em AutoCad. Sem escala.
Elaboração própria.**

O tempo de concentração calculado para esses valores, pela fórmula de Kirpich (4) foi de 1,72h, ou 103,32 min.

A vazão foi calculada através do método HUT, devido a magnitude da área, e o percentual de ocupação e uso do solo, segundo a tabela do DNIT, resultou nos seguintes resultados:

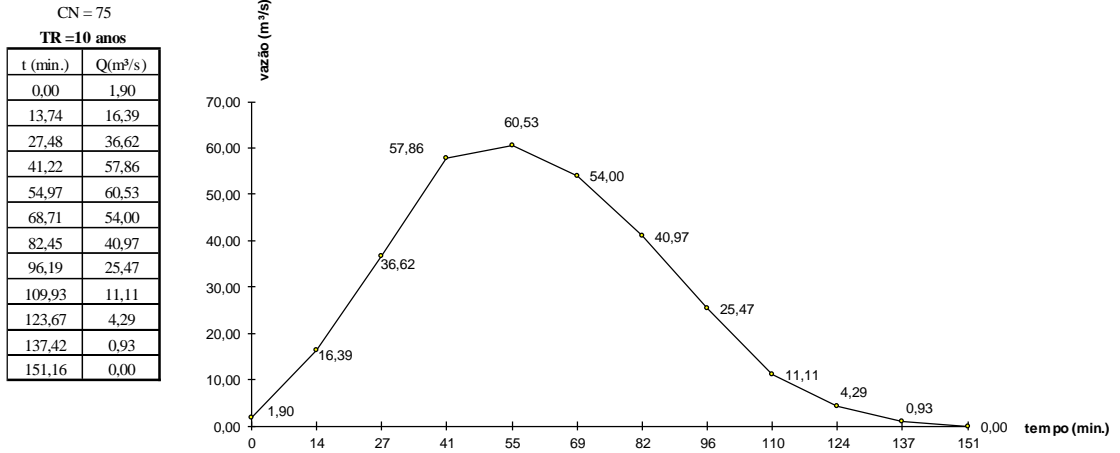
- O enquadramento do solo escolhido foi um intermediário entre os grupos B e C, e portanto, foram escolhidos valores de CN para valores médios entre os do grupo B e do Grupo C.
- As ocupações do solo foram estimadas com base em medição no AutoCad e no Google Earth, conforme os percentuais apresentados na tabela 7.

Cobertura Vegetal	Condição de Retenção Superficial	Grupo Hidrológico do Solo		CN médio Calculado	Percentual de Área na Bacia
		B	C		
Terreno não cultivado com pouca Vegetação	Pobre	86	91	88,5	-
Terreno Cultivado	Pobre	81	88	84,5	-
	Boa	67	76	71,5	-
Pasto	Pobre	79	86	82,5	-
	Boa	61	74	67,5	5%
Mata ou Bosque	Pobre	66	77	71,5	-
	Boa	55	70	62,5	25%
Área Urbana	Pobre	80	87	83,5	14%
	Boa	76	83	80,0	56%

O CN calculado através dos percentuais apresenta um total de 75,49.

A imagem a seguir mostra a aplicação do método HUT realizado em uma planilha para a obtenção da vazão máxima de um tempo de retorno de 10 anos, e o hidrograma gerado.

HIDROGRAMA



**Gráfico 4: Hidrograma de chuvas de 10 anos na Bacia do Rio Quitandinha.
Elaboração própria.**

O valor de vazão máxima obtido para o tempo de concentração de 103,32 min, foi de 60,53 m³/s.

4.4.2 Capacidade Hidráulica do canal do Rio Quitandinha

A verificação da capacidade hidráulica do canal foi realizada na altura da Rua do Imperador, próximo ao exultório da bacia, conforme mostra a Figura 28, e foram obtidas as dimensões:

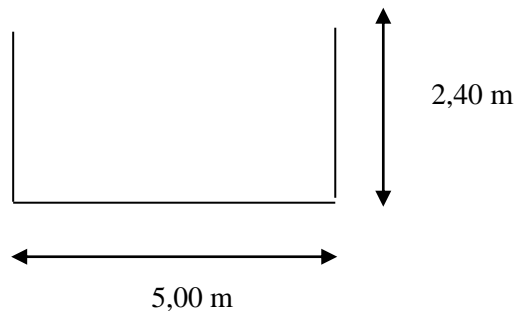




Figura 30: Canal medido na Rua do Imperador.

Foto: aquafluxus.com.br, acessado dia 25 de julho de 2014.

A velocidade da vazão através do canal será determinada através da Equação de Manning:

$$V = \frac{R_H^{2/3} \times \sqrt{i}}{\mu} \quad (13)$$

Onde:

R_H é o raio hidráulico $R_H = A_M / P_M$, onde A_M é a área molhada em m^2 e P_M o perímetro molhado em m;

i é a declividade, em m/m;

μ é o coeficiente de Manning, determinado de acordo com o material do canal.

A declividade média do canal no trecho descrito será adotada de 0,0357, conforme medido anteriormente e o coeficiente de Manning será uma média ponderada

dos valores da parede de cada material pela sua participação no perímetro, como mostrado a seguir:

Determinação dos coeficientes de Manning			
	Material	Coeficiente	Perímetro
Parede Direita	Concreto envelhecido	0,018	2,40 m
Parede Esquerda	Pedra rejuntada	0,022	2,40 m
Fundo	Pedras irregulares	0,031	5,00 m

O valor encontrado é de $\mu = 0,026$

A velocidade encontrada por esse cálculo é de 3,11 m/s.

A determinação da capacidade de vazão máxima suportada pelo canal, em m³/s, será obtida através da equação da continuidade:

$$Q = V \times A_M \quad (14)$$

Onde:

V é a velocidade, em m/s;

A_M é a área molhada, em m².

O resultado do cálculo é uma capacidade de $Q = 37,37 \text{ m}^3/\text{s}$, um valor 23,16 m³/s a baixo da vazão de 60,53 m³/s gerada em um tempo de recorrência de 10 anos.

4.5 Projeto Hidráulico

Considerando que em uma chuva de 10 anos, há um excedente de 23,16 m³/s de água, nesta seção será apresentado o projeto hidráulico como alternativa ao controle de enchentes.

4.5.1 Reservatório 1

O primeiro reservatório, localizado na Figura 31 tem uma área de 11.187 m² a seguir, irá receber a contribuição de uma área de 1,296 km² correspondentes a 11,63% da área total da bacia.

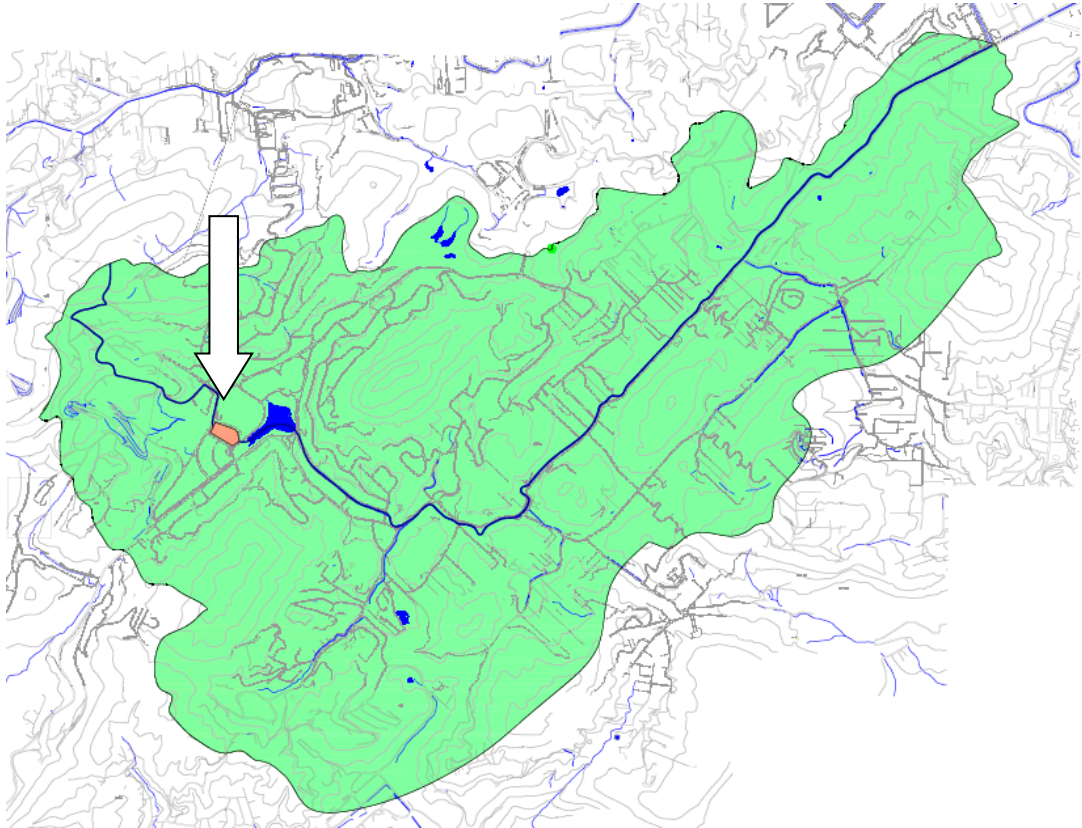


Figura 31: Localização do primeiro reservatório de retenção na bacia. Elaboração própria.

Embora a área da bacia de contribuição desta bacia admita um cálculo de vazão através do método racional modificado, o método empregado será o do Hidrograma Unitário Triangular, a fim de possibilitar a comparação e somatório da vazão desta área com a vazão da área total da bacia hidrográfica do Rio Quitandinha.

As informações da bacia traçada e sua imagem estão listados a seguir:

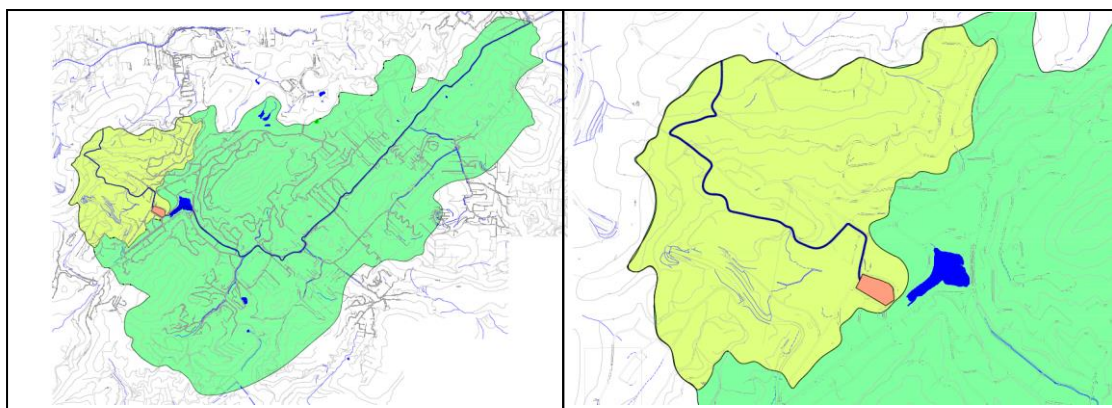


Figura 32: Área do primeiro reservatório de detenção na bacia. Elaboração própria.

Dados da bacia do reservatório 1	
Área	1,269 Km ²
Comprimento do talvegue	1,918 Km
Cota inicial	1.068 m
Cota final	860 m
Desnível	226 m
Declividade	0,1178 m/m

O tempo de concentração determinado pela equação de Kirpich: 0,374 h ou 22,44 min.

Percentuais de áreas e determinação do coeficiente CN:

Cobertura Vegetal	Condição de Retenção Superficial	Grupo Hidrológico do Solo		CN médio Calculado	Percentual de Área na Bacia
		B	C		
Terreno não cultivado com pouca Vegetação	Pobre	86	91	88,5	-
Terreno Cultivado	Pobre	81	88	84,5	-
	Boa	67	76	71,5	-
Pasto	Pobre	79	86	82,5	-
	Boa	61	74	67,5	5%
Mata ou Bosque	Pobre	66	77	71,5	-
	Boa	55	70	62,5	35%
Área Urbana	Pobre	80	87	83,5	60%
	Boa	76	83	80,0	-

CN calculado: 75,35

A imagem a seguir mostra os resultados e o hidrograma de vazões da bacia de contribuição do reservatório 1.

HIDROGRAMA

CN = 75
TR = 10 anos

t (min.)	Q(m³/s)
0,00	0,23
2,98	1,39
5,97	3,59
8,95	6,52
11,94	8,80
14,92	9,42
17,91	8,29
20,89	5,80
23,88	3,46
26,86	1,67
29,85	0,51
32,83	0,00

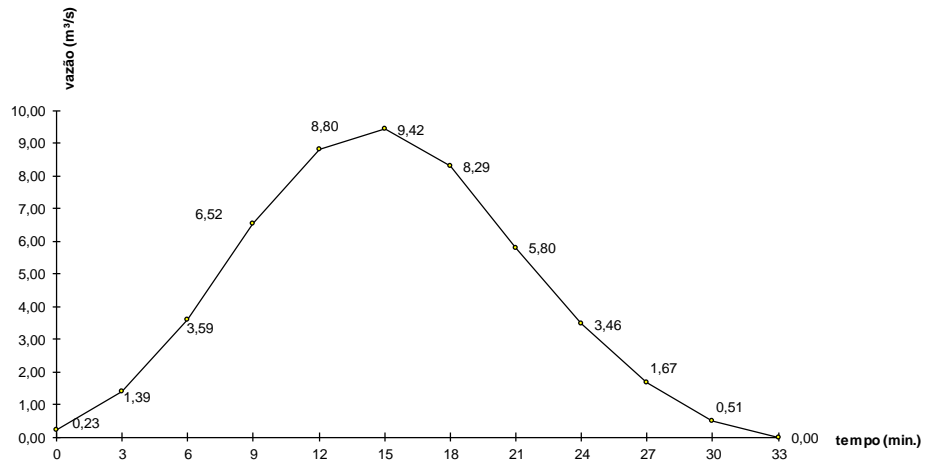


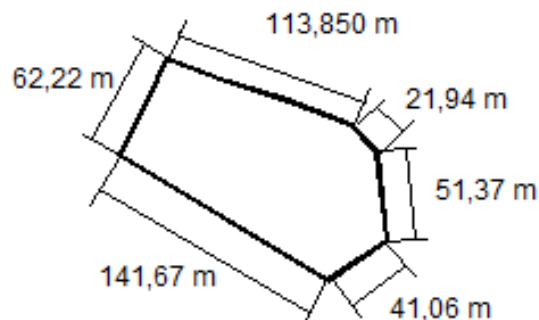
Gráfico 5: Hidrograma de chuvas de 10 anos na Bacia do Reservatório 1.

Elaboração própria.

A vazão máxima gerada em um tempo de retorno de 10 anos é de 9,42 m³/s.

Para calcular o volume gerado na duração do escoamento, será feita uma integração sob a curva de vazão do hidrograma, com o tempo variando de 0 a 33 min. O valor encontrado é de 9.325,80 m³.

A área vazia onde irá instalar-se o reservatório, como mostra a imagem a seguir possui as seguintes dimensões:



A área de 11.187 m² será escavada até uma profundidade de 1,00 m, de forma que ela poderá reter um volume de 11.187 m³.

4.5.1.1 Saída de água

Para realizar o extravazamento do reservatório será previsto uma comporta na parte inferior da estrutura, e um vertedouro como medida de segurança na parte superior, para funcionar como extravazador.

A comporta será dimensionada para ser capaz de liberar todo o volume máximo do reservatório em período de 24h.

Sabendo-se que:

$$Q = \frac{Vol}{tempo} \quad (15)$$

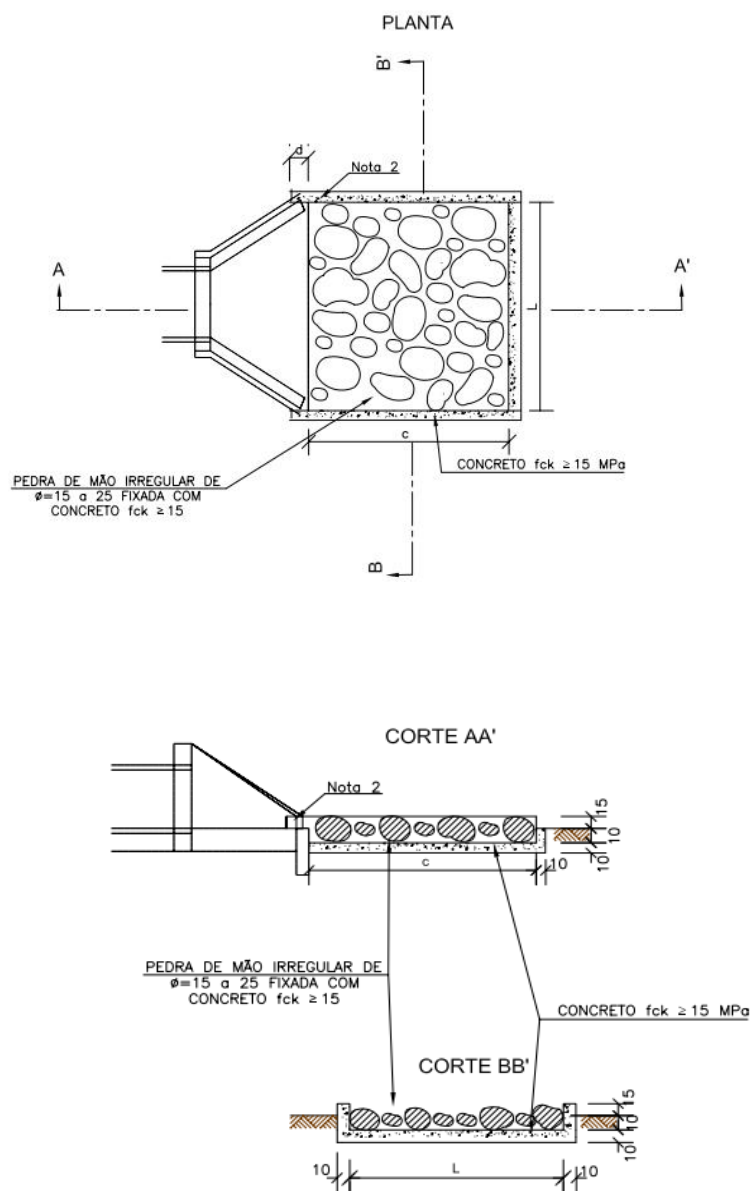
temos que a vazão de saída desses 11.187 m³, em 24h deve ser de 0,129 m³/s.

A velocidade de saída da água, será estipulada em 2,00 m/s, para que não seja maior do que a própria velocidade do rio calculada anteriormente em 3,11m/s.

Aplicando a equação da continuidade (13), encontramos que a área necessária para escoar a vazão de 0,129 m³/s com a velocidade de 2,00 m/s deve ser de 0,065 m².

Portanto, será adotados um tubo. de diâmetro 300 mm, cuja seção mede 0,071m². A velocidade do escoamento será de 1,825m/s.

Para amortecer a chegada da água no cal será colocado um muro ala e um dissipador de energia, conforme a Figura 31. Embora dissipadores usualmente sejam usados apenas em caso de vazões superiores a 2,00 m/s, o dispositivo será colocado segundo os padrões estabelecidos no Manual de Drenagem do DNIT, para uma melhor acomodação da descarga de fundo no canal.



DIMENSÕES E CONSUMOS MÉDIOS PARA UMA UNIDADE									
TIPO	ADAPTÁVEL EM	C	L	d	e	CONCRETO (m ³)	FORMAS (m ²)	PEDRA FIXADA COM CONCRETO (m ²) (VAZIOS=40%)	ESCAVAÇÃO (m ³)
DEB 01	DAR01/02/03	200	70	10	15	0,35700	2,730	0,210	0,294
DEB 02	DAD01/02	200	74	10	15	0,36900	2,742	0,222	0,311
DEB 03	BSTC φ 60-DAD03/04	240	130	30	15	0,65180	3,630	0,468	0,650
DEB 04	BSTC φ 80-DAD05/06	320	160	30	15	0,99380	4,680	0,768	1,056
DEB 05	BSTC φ 100-DAD07/08	400	190	30	15	1,40300	5,730	1,140	1,558
DEB 06	BSTC φ 120-DAD09/10	480	220	30	15	1,87940	6,780	1,584	2,156
DEB 07	BSTC φ 150-DAD11/12	560	260	30	15	2,50340	7,860	2,184	2,964
DEB 08	BSTC φ 100-DAD13/14	400	310	30	15	2,09900	6,090	1,860	2,542
DEB 09	BSTC φ 120-DAD15/16	480	360	30	15	2,84820	7,200	2,592	3,528
DEB 10	BSTC φ 150-DAD17/18	560	430	30	15	3,87020	8,370	3,612	4,902
DEB 11	BTTC φ 100	400	430	30	15	2,79500	6,450	2,580	3,526
DEB 12	BTTC φ 120	480	500	30	15	3,81700	7,620	3,600	4,900
DEB 13	BTTC φ 150	600	600	30	15	5,60100	9,360	5,400	7,320

Figura 33: Detalhe de dissipador e muro ala

Fonte: DNIT, 2006

Por tratar-se de um diâmetro muito pequeno, de 300 mm, as dimensões escolhidas para o dispersor serão as menores disponíveis, sendo elas:

$$C = 200; \quad L = 70; \quad d = 10; \quad e = 15$$

A saída de água será instalada em um canal já existente entre o local do reservatório e o lago Quitandinha, que hoje encontra-se parcialmente obstruído.



Figura 34: Local de desague do rio para o Lago Quitandinha

Fonte: Própria

4.5.2 Reservatório 2

O segundo reservatório, localizado na Figura 35 a seguir, irá receber a contribuição de uma área de 1,06 km², correspondentes a 9,48% da área total da bacia.

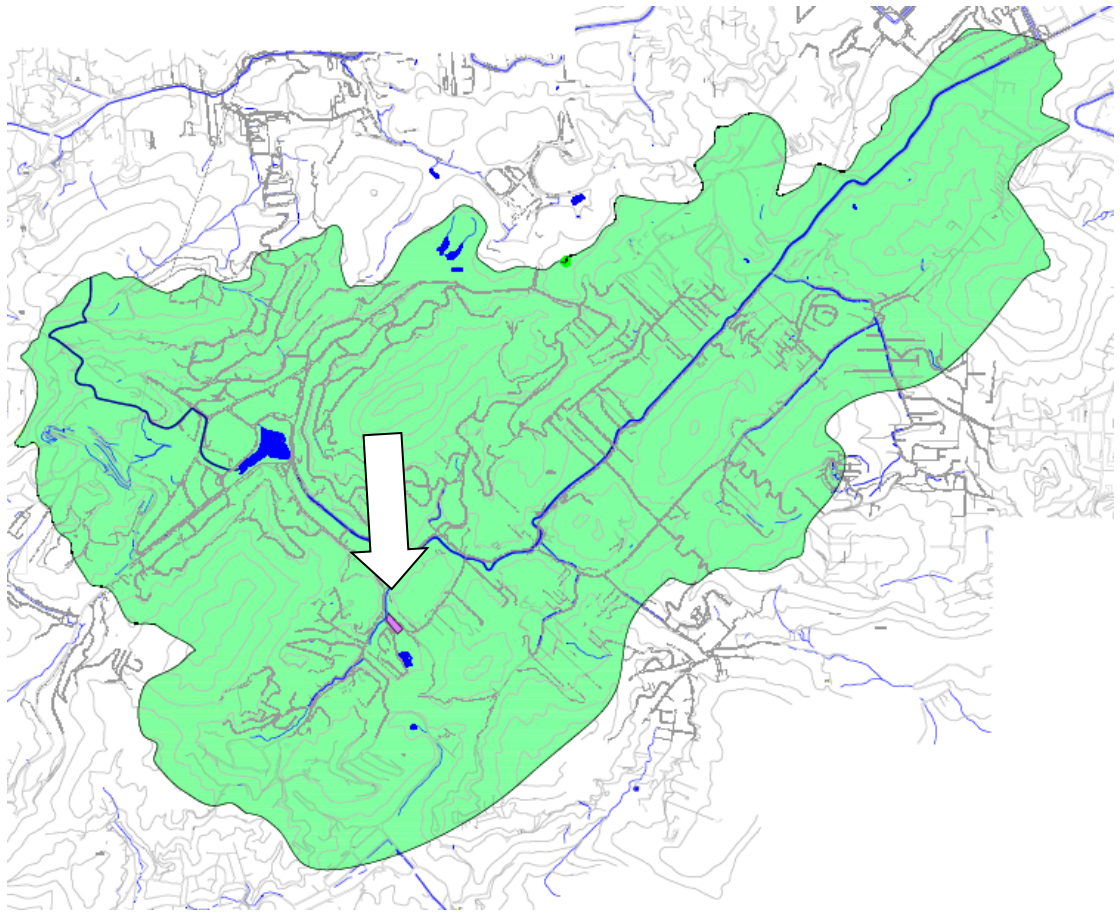


Figura 35: Localização do segundo reservatório de detenção na bacia. Elaboração própria.

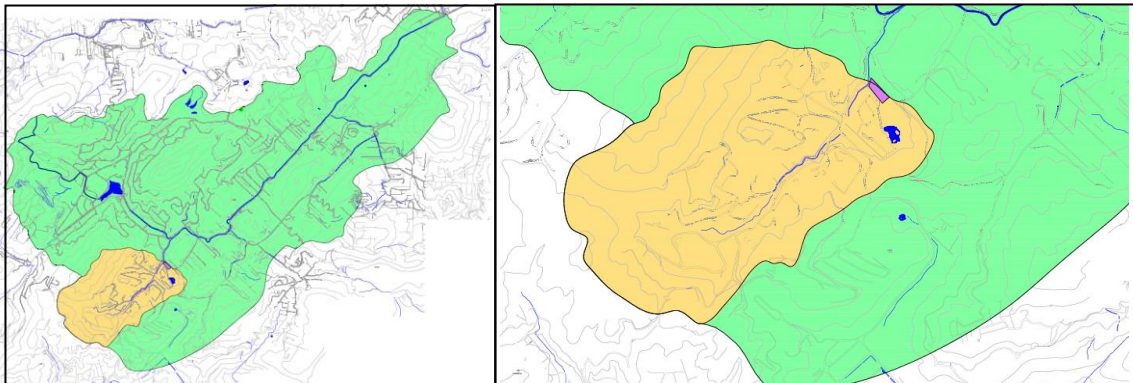


Figura 36: Área do primeiro reservatório de detenção na bacia. Elaboração própria.

As informações da bacia traçada estão a seguir:

Dados da bacia do reservatório 2	
Área	1,055 Km ²
Comprimento do talvegue	1,334 Km
Cota inicial	1.014,40 m
Cota final	837,40 m
Desnível	176 m
Declividade	0,1324 m/m

O tempo de concentração determinado pela equação de Kirpich: 0,270 h ou 16,20 min.

Percentuais de áreas e determinação do coeficiente CN:

Cobertura Vegetal	Condição de Retenção Superficial	Grupo Hidrológico do Solo		CN médio Calculado	Percentual de Área na Bacia
		B	C		
Terreno não cultivado com pouca Vegetação	Pobre	86	91	88,5	-
Terreno Cultivado	Pobre	81	88	84,5	-
	Boa	67	76	71,5	-
Pasto	Pobre	79	86	82,5	-
	Boa	61	74	67,5	5%
Mata ou Bosque	Pobre	66	77	71,5	-
	Boa	55	70	62,5	35%
Área Urbana	Pobre	80	87	83,5	60%
	Boa	76	83	80,0	-

CN calculado: 75,35

A imagem a seguir mostra os resultados e o hidrograma de vazões da bacia de contribuição do reservatório 2.

Hidrograma Unitário Triangular (HUT)

(TR de 10 anos)

ESTUDOS HIDROLOGICOS

CÁLCULO DA CHUVA

Parâmetros

k=> 9756,845
a=> 0,212
b=> 41,620
c=> 1,140

PARÂMETROS DE CÁLCULO

1 Parâmetros Físicos da Bacia

L = 1,33 km
H = 176,00 m
A = 1,06 km²

2 Tempo de Concentração

Tc = 16,20 min 0,270 h

$$t_c = 85,2 * (L^3 / H)^{0,385} \text{ (min.)}$$

3 Tempo de Duração da Chuva Unitária

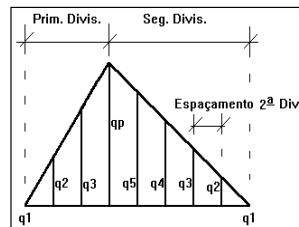
D = 2,155 min 0,036 h

4 Determinação da Hidrografa Unitária Sintética

tp = 0,180 h Prim. Divis. 0,180 Seg. Divis. 0,301
tb = 0,480 h No de Increm. 3 No de Increm. 5
tr = 0,301 h

5 Ordenadas da H.U.S. (m³/s)

Prim. Divis. Seg. Divis.
q1 = 0 q1 = 0
S q2 = 0,406 q2 = 0,244 S
S q3 = 0,813 q3 = 0,488 S
S q4 = 1,219 q4 = 0,732 S
N q5 = 1,626 q5 = 0,976 S
N q6 = 2,032 q6 = 1,219 N



$$I = \frac{K \times T^a}{(t + b)^c} \text{ mm/h}$$

PRECIPITAÇÃO (mm)		
Duração		Período de Recorrência (anos)
Minutos	Horas	10
2,15	0,04	7,68
4,31	0,07	14,55
6,46	0,11	20,71
8,62	0,14	26,27
10,77	0,18	31,30
12,93	0,22	35,87
15,08	0,25	40,04
17,24	0,29	43,86

DISTRIBUIÇÃO TEMPORAL

DEFLÚVIO SUPERFICIAL DIRETO

CN = 75

TR = 10 anos

TR = 10 anos

Duração (min.)	Precipitação (mm)	DP (mm)	Reordenação	Coefficiente Espacial de Chuva	Chuva de Projeto
2,15	7,68	7,68	3,82	3,82	3,82
4,31	14,55	6,86	4,57	4,57	8,39
6,46	20,71	6,16	5,03	5,03	13,42
8,62	26,27	5,56	6,86	6,86	20,28
10,77	31,30	5,03	7,68	7,68	27,97
12,93	35,87	4,57	6,16	6,16	34,13
15,08	40,04	4,17	5,56	5,56	39,69
17,24	43,86	3,82	4,17	4,17	43,86

Duração (min.)	P (mm)	R (mm)	DR (mm)
2,15	3,82	0,00	0,00
4,31	8,39	0,00	0,00
6,46	13,42	0,00	0,00
8,62	20,28	0,15	0,15
10,77	27,97	1,36	1,21
12,93	34,13	3,05	1,68
15,08	39,69	5,01	1,96
17,24	43,86	6,72	1,71

HIDRÓGRAFA DE CHEIAS

CN = 75

TR = 10 anos

R(mm) \ Q(m³/s)	0	0,406472	0,81294	1,21942	0,97553	0,73165	0,487766	0,2438832	0							
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
0,00		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						
0,00			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00					
0,15				0,00	0,06	0,13	0,19	0,15	0,11	0,08	0,04	0,00				
1,21					0,00	0,49	0,98	1,47	1,18	0,88	0,59	0,29	0,00			
1,68						0,00	0,68	1,37	2,05	1,64	1,23	0,82	0,41	0,00		
1,96							0,00	0,80	1,60	2,40	1,92	1,44	0,96	0,48	0,00	
1,71								0,00	0,70	1,39	2,09	1,67	1,25	0,84	0,42	0,00
Q(m³/s)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,62	1,86	3,79	5,64	6,39	5,86	4,22	2,62	1,31	0,42	0,00
Q máxima																
6,39 m³/s																

HIDROGRAMA

CN = 75

TR = 10 anos

t (min.)	Q(m³/s)
0,00	0,06
2,15	0,62
4,31	1,86
6,46	3,79
8,62	5,64
10,77	6,39
12,93	5,86
15,08	4,22
17,24	2,62
19,39	1,31
21,55	0,42
23,70	0,00

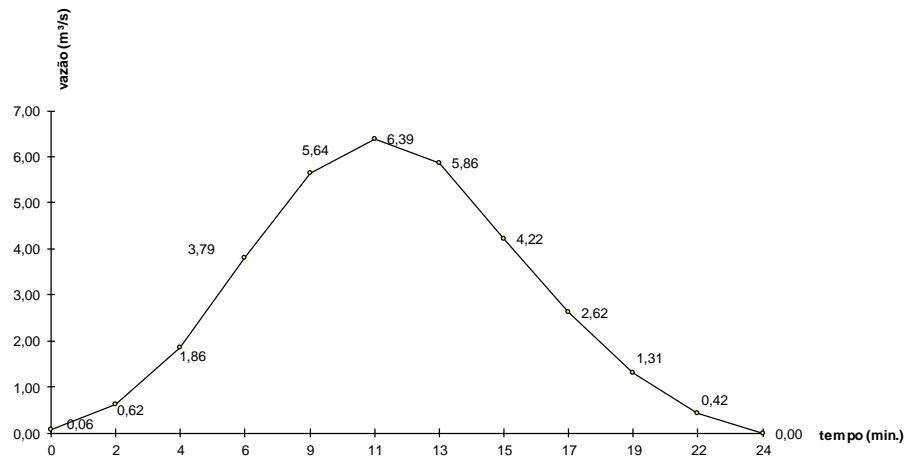


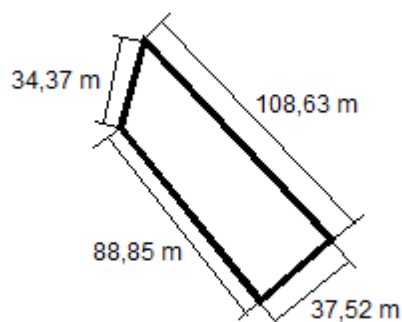
Gráfico 6: Hidrograma de chuvas de 10 anos na Bacia do Reservatório 2.

Elaboração própria.

A vazão máxima medida, portanto, é de 6,39 m³/s.

Fazendo a integração da área sob a curva do hidrograma, encontramos que o volume gerado no período de 0 a 24 minutos é de 4.600,80 m³.

A área vazia onde irá instalar-se o reservatório, como mostra a imagem a seguir possui as seguintes dimensões:



A área total média em AutoCad é de 3.329,5 m², e será escavada até a profundidade de 2,00, de forma que ela poderá reter um volume de 6.659 m³.

4.5.2.1 Saída de água

Para realizar o deságue do reservatório será previsto uma comporta na parte inferior da estrutura, e um vertedouro como medida de segurança na parte superior.

A comporta será dimensionada para ser capaz de liberar todo o volume máximo do reservatório em período de 24h.

Utilizando a equação (10) que relaciona vazão com tempo e volume, temos que para esvaziar o volume de 6.659 m³ do reservatório em 24h será necessária uma vazão de 0,077 m³/s.

A velocidade de saída da água, será estipulada também em 2,00 m/s, pelo mesmo motivo apresentado anteriormente de não ser maior do que a própria velocidade do rio calculada em 3,11 m/s.

Aplicando a equação da continuidade (9), encontramos que a área necessária para escoar a vazão de 0,077 m³/s com a velocidade de 2,00m/s deve ser de 0,039 m².

Neste caso também será adotado um tubo de diâmetro 250 mm, cuja seção mede 0,079 m². A velocidade de escoamento será de 0,97 m/s.

Devido a baixa vazão, canal não receberá dissipador para a vazão de desague da descarga de fundo da bacia de detenção.

4.5.3 Resultado parcial

Para calcular o efeito desses dois reservatórios no amortecimento da vazão que chega ao centro da cidade de Petrópolis, submeteremos a nova área, agora reduzida, da bacia do Rio Quitandinha, o novo valor do talvegue, desnível e declividade novamente ao cálculo do deflúvio por meio do método HUT.

Dados da bacia do Quitandinha após intervenção	
Área	8,787 Km ²
Comprimento do talvegue	5,785 Km
Cota inicial	860 m
Cota final	809 m
Desnível	51 m
Declividade	0,0088 m/m

O tempo de concentração calculado pela equação de Kirpich: 2,373 h ou 16,20 min.

O coeficiente CN será mantido de antes da intervenção em 75,49.

As imagens a seguir e o hidrograma mostram a execução dos cálculos das vazões pelo método HUT em uma planilha.

HIDROGRAMA

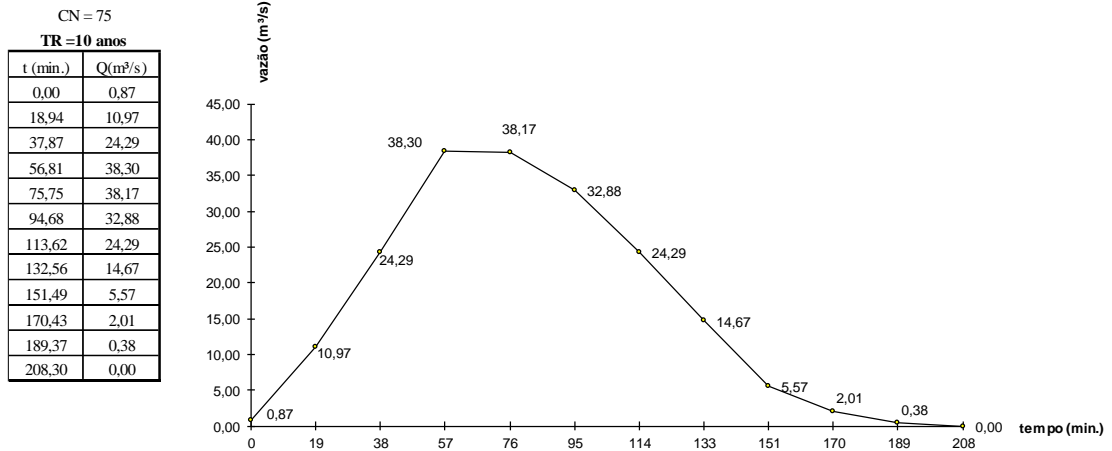


Gráfico 7: Hidrograma de chuvas de 10 anos na Bacia do Rio Quitandinha após intervenção. Elaboração própria.

A vazão total da bacia sofreu redução de 60,53 m³/s para 38,30 m³/s.

Embora grande parte da vazão excedente do rio calculada em 37,37 m³/s seja amortecida pelas soluções apresentadas anteriormente, há um remanescente de vazão que não é contemplado por essas soluções.

Para calcular este remanescente, resgataremos o hidrograma da bacia do Rio Quitandinha após a colocada dos reservatórios (Gráfico 6).

O volume que excede a capacidade hidráulica do canal existente é numericamente equivalente a área sob a curva entre a vazão máxima (38,30 m³/s) e a vazão suportada pelo canal (37,37 m³/s), como indicado na Figura 37 a seguir.

A área sobre a curva entre os valores de 38,30 e 37,37, localizados respectivamente em 55 e 79 minutos, será de 770m³.

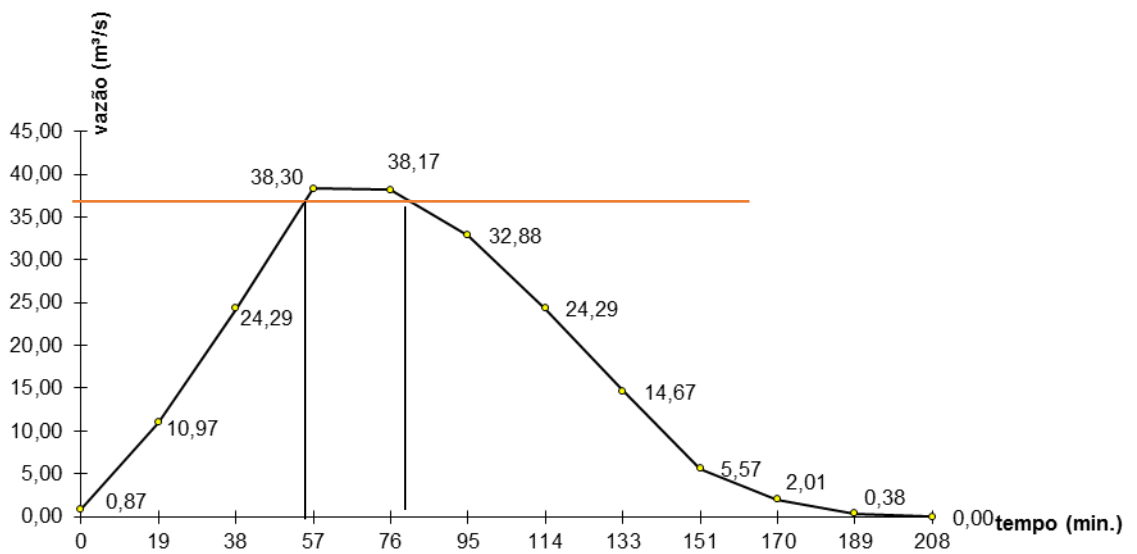


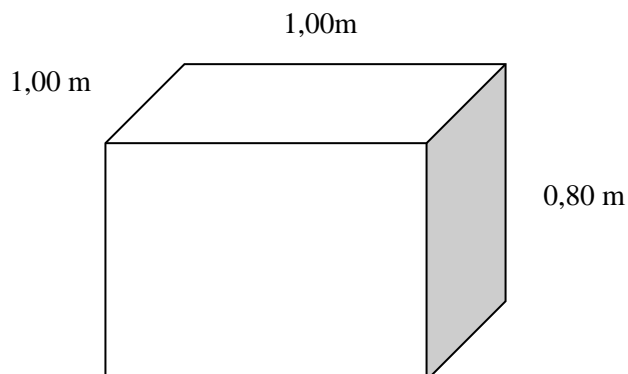
Figura 37: Cálculo do volume de chuva excedente através da área do hidrograma.

Elaboração própria.

4.5.4 Trincheiras de infiltração

Para apresentar uma solução mais integrada, este trabalho irá propor a adoção de trincheiras de infiltração para ajudar a amortecer a vazão excedente do canal.

Considerando que cada metro linear de trincheira tenha as dimensões de 1m de largura e 0,80m de profundidade, encontraremos o volume de 0,80m³ por metro linear, como mostra e esquema a seguir.



A trincheira será preenchida por brita 1 (15,5 a 22 mm) e 2 (22 a 32 mm) de forma que seu volume útil é de 30% do volume total. Portanto cada metro linear de trincheira será capaz de receber um volume de 0,24m³ de água de chuva.

O volume de chuva excedente calculado anteriormente é de 770 m³. Dividindo esse valor pela área útil das trincheiras de 0,24m³, encontramos o resultado de que serão necessários 3,208 km lineares de trincheiras de infiltração ao longo da bacia do Quitandinha para amortecer o excedente de vazão.

As trincheiras podem ser implantadas livremente ao longo das calçadas das ruas existentes na bacia, contanto que sigam as seguintes recomendações:

- As trincheiras não podem ser implantadas a montante das bacias de retenção, pois estariam exercendo um papel redundante de coletar vazão, e fariam as bacias funcionarem com capacidade a baixo da projetada;
- É recomendável que elas sejam implantadas com alguma distância do exultório, definido como encontro dos rios na Rua do Imperador, para que a vazão seja amortecida ainda no início do tempo de concentração;
- As trincheiras não devem também ser implantadas muito próxima ao rio, para que seu fundo mantenha a margem de pelo menos 1,50 m de distância do lençol freático.

5 Conclusão

Em um ambiente já urbanizado apresente-se muitas vezes como um desafio solucionar problemas como o de enchentes, sendo possível adotar medidas tanto estruturais quanto legislativas capazes de mitigar esses problemas.

O caso das enchentes urbanas, é um exemplo que requer medidas de caráter urgente, pois as consequências desses eventos, por vezes, são catastróficas, envolvendo deslizamento de massas, destruição e desapropriação de moradias e riscos de acidentes, inclusive fatais.

Para o caso específico de Petrópolis, e do primeiro distrito em particular, uma intervenção eficiente para a mitigação do problema das cheias deve ser a combinação de medidas legais, como as restrições de ocupação de entorno de nascentes e encostas previstas pelo código florestal, com medidas físicas de combate às enchentes.

Dentre as medidas físicas, destaca-se as que tem por foco a melhoria dos canais, como a separação entre drenagem e esgotamento sanitário, a limpeza periódica dos dispositivos de drenagem e a dragagem dos canais. Existem também as que tem por foco a diminuição da impermeabilização da cidade, como adoção de recobrimento mais permeável para as ruas, adoção de bacias de infiltração em espaços livres e implantação de coletores no interior das casas.

Tendo em vista que o problema de cheias urbanas é resultado de falta de planejamento e de adequação das cidades ao ambiente natural, as medidas preventivas devem surgir de duas vertentes: planejamento urbano e planejamento ambiental.

A primeira delas deve ser integrar a drenagem urbana a um planejamento mais holístico das cidades, de modo que os diversos sistemas urbanos existentes em uma cidade sejam cooperativos entre si. As diferentes redes das cidades não atuam isoladamente, mas em interação umas com as outras. Por exemplo, se é realizado alargamento de um canal, é necessário prever que o estreitamento da rua ao lado provocará alterações de trânsito, ou que o lançamento de esgotos *in natura* e outros detritos nos canais de drenagem irá alterar suas propriedades de escoamento.

Uma medida que torna-se cada vez mais necessária é o Plano Diretor. Citado como principal instrumento no Estatuto das Cidades, que por sua vez, tem amparo legal na Constituição Federal, o Plano Diretor é um documento obrigatório para cidades com mais de 20 mil habitantes, e prevê potenciais de crescimento, investimentos, áreas edificáveis e outras medidas.

O segundo consiste em administrar a sustentabilidade urbana dentro de seu planejamento. Muitos dos problemas urbanos que hoje se enfrenta nas cidades são consequência de uma ausência de preservação ou excesso de poluição. É necessário, portanto, que as leis urbanas sejam instituídas, primeiramente, pelas limitações físicas da cidade.

O planejamento das cidades, em todas as suas esferas, precisa ter em vista que a eficiência de recursos, a funcionalidade da cidade e bem estar da população, não são alcançados apenas pela esperança de que a técnica seja capaz de solucionar qualquer problema, mas sim, à medida que as intervenções urbanas levam em conta sua interação com o espaço natural que ali se encontra encoberto pela malha urbana.

6 Referências

BRASIL. Código Florestal - LEI Nº 12.727, DE 17 DE OUTUBRO DE 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. **Presidência da República, Casa Civil, Subchefia para Assuntos Jurídicos**. Brasília, DF, Outubro, 2012.

BRITO, S. **Projetos e Relatórios**. Rio de Janeiro, Imprensa Nacional, 1943.

CETESB - Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem Urbana**: Manual de Projeto. Convênio CETESB – ASCETESB, São Paulo, 2012.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Drenagem de Rodovias**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, RJ, 2006.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem**. 2ª Ed. Rio de Janeiro, RJ, 2005.

GÓIS, E. “MOVIMENTO HIGIENISTA E O PROCESSO CIVILIZADOR: APONTAMENTOS METODOLÓGICOS” In **X Simpósio Internacional Processo Civilizador**. Campinas, SP, Abril de 2007.

GUERRA, A. J. T. “EVOLUÇÃO HISTÓRICO-GEOGRÁFICA DA OCUPAÇÃO DESORDENADA E MOVIMENTOS DE MASSA NO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS, NAS ÚLTIMAS DÉCADAS” In: **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Ano 8, n.1, Rio de Janeiro, 2007.

GUERRA, A. J. T., MENDONÇA, M. B., LOPES, P. B. M., LIMA, F. S., JORGE, M. C. O., MENDES, B. R. “Criação de um Sistema de Previsão e Alerta de Riscos a deslizamentos e enchentes, visando minimizar os impactos socioambientais no bairro Quitandinha, bacia do rio Piabanha (afluente do Paraíba do Sul), município de Petrópolis-RJ” In: **Anais II Seminário de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul: Recuperação de Áreas Degradadas, Serviços Ambientais e sustentabilidade**. Pp. 785-824, Taubaté, SP, Dezembro de 2009.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Área de Proteção Ambiental da Região Serrana de Petrópolis**. Brasília, DF, março de 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia Estatística. **Estatística do Século XX**. Comunicação Social, Setembro de 2003.

LARA, C. J., 2011. **Estudo de Cheia da Bacia Hidrográfica do Centro da Cidade de Petrópolis, Rio Quitandinha – Rio Palatinato - Relações de Causa e Consequência**. Monografia de graduação, Universidade Católica de Petrópolis, 2011.

MATA-LIMA, H., VARGAS, H., CARVALHO, J., GONÇALVES, M., CAETANO, H., MARQUES, A., RAMINHOS, C. “Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso” In: **Revista Escola de Minas**. V. 60, n.3, Ouro Preto, MG, Julho/Setembro de 2007.

MEDEIROS, V. S., BARROS, M. T. L. “Análise de Eventos Críticos de Precipitação Ocorridos na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro nos Dias 11 e 12 de Janeiro de 2011”. In **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Maceió, AL, Dezembro de 2011.

MENDONÇA, M. C., FERNANDES, L. H., ABRANTES, E. A., QUEIROZ, G. C., BERNARDO, A. N., SILVEIRA, T. C. **Fauna Colembológica do Estado do Rio de Janeiro, Brasil**. Arquivos do Museu Nacional, V.67, n.3-4, pp. 265-274, Rio de Janeiro, Jul/Dez 2009.

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 1976.

POMPEO, C. A. “Drenagem Urbana Sustentável”. In: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. V. 5 n.1, pp. 15-23, Santa Catarina, Jan/Mar 2000.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PETRÓPOLIS. **Restituição Aero Fotogramétrica - DWG**. Petrópolis, RJ, 2013.

TCE – Tribunal de Contas do Estado do Rio de Janeiro. **Estudo Socioeconômico 2003 – Petrópolis**. Coordenadoria de Comunicação Social, Imprensa e Editoração, Rio de Janeiro, 2003.

TOMAZ, P. “Dimensionamento preliminar de reservatório de detenção” In: **Curso de Manejo de Águas Pluviais**. Cap. 10, Guarulhos, SP, Edição de Plínio Tomaz, 2009.

TOSCANO, M. **Estudo dos dissipadores de energia para obras hidráulicas de pequeno porte**. Dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1999.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

TUCCI, C. E. M., PORTO, R. L. & BARROS, M.T. (organizadores). **Drenagem Urbana**. ABRH. Porto Alegre, RS, Ed. da UFRGS, 1995.

Sites consultados

COMISSÃO Especial de Estudos e Revisão do Plano Diretor de Petrópolis. Disponível em: < <http://cmp.web766.kinghost.net/planodiretor/planodiretor2013.html>>. Acesso em 12 de novembro de 2013.

DEPARTAMENTO de Engenharia de Transportes e Geotecnia da Universidade Federal de Minas Gerais. **Palestra de Marcio Baptista (2007)**. Disponível em: <<http://www.etg.ufmg.br/>>. Acesso em 23 de abril de 2014.

PREFEITURA de Petrópolis. Disponível em: <<http://www.petropolis.rj.gov.br/pmp/>>. Acesso em 14 de março de 2014.