

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA HÍDRICA - MESTRADO
PROFISSIONAL**

**Recomendações Técnicas para Amenizar os Impactos
Causados pela Impermeabilização dos Solos na
Implantação de Novos Loteamentos**

Itajubá, novembro de 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA HÍDRICA - MESTRADO
PROFISSIONAL

Ana Paula Sarmiento de Carvalho

Recomendações Técnicas para Amenizar os Impactos
Causados pela Impermeabilização dos Solos na Implantação
de Novos Loteamentos

Texto submetido ao Programa de Pós-graduação da
Universidade Federal de Itajubá, para obtenção do
título de Mestre em Engenharia Hídrica.

Orientadora: Profa. Dra. Ana Paula Moni Silva

Itajubá, novembro de 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA HÍDRICA - MESTRADO
PROFISSIONAL

Ana Paula Sarmento de Carvalho

**Recomendações Técnicas para Amenizar os Impactos Causados pela
Impermeabilização dos Solos na Implantação de Novos Loteamentos**

À Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Profa. Dra. Ana Paula Moni Silva (orientadora)

Prof. Artur José Soares Matos

Prof. Dr. Benedito Cláudio da Silva

Aprovada () Reprovada ()

Itajubá, novembro de 2020

AGRADECIMENTO

A Deus, por todas as oportunidades de estudo.

Aos meus pais pelo exemplo e por sempre me apoiarem e estimularem a estudar.

A minha amiga Thais, pelo amparo durante o processo de escrita deste trabalho.

A professora Ana Moni, pela paciência e orientação no desenvolver deste estudo.

EPÍGRAFE

“Cada célula, todo fio de cabelo
Falando assim parece exagero,
Mas se depender de mim
Eu vou até o fim”
Humberto Gessinger

RESUMO

No Brasil, urbanização normalmente ocorre sem planejamento, alterando muitas características regionais, provocando alterações no comportamento hidráulico-hidrológico, causando problemas como inundações por escoamento urbano, por exemplo. A engenharia busca propor soluções que reduzam ou amenizem os impactos causados pela urbanização. Em função de disso, a implantação de novos loteamentos deve ser conciliada com práticas que busquem retardar este tipo de inundação e que sejam viáveis economicamente. Para tanto, esta dissertação analisou o impacto da adoção de medidas estruturais e não estruturais na implantação de novos loteamentos, visando a diminuição da vazão de pico e a viabilidade técnica-econômica para quatro cenários onde variou-se a permeabilidade do solo em loteamentos a serem implementados no sul de Minas Gerais. As medidas de controle propostas são calçadas com pavimento poroso, que todos os loteamentos tenham uma área verde correspondente a 10% da sua área total e, que todos os lotes mantenham 5% de sua área livres para a permeabilização direta da água da chuva no solo. Os resultados são promissores no que se refere as vazões e análise financeira pode apresentar caminhos alternativos para o empreendedor.

Palavras chave: Drenagem urbana, QGIS, Pavimento Permeável.

ABSTRACT

In Brazil, urbanization usually occurs without planning, changing many regional characteristics, causing changes in the hydraulic-hydrological behavior and problems such as floods by urban runoff, for example. Engineering seeks to propose solutions that reduce or mitigate the impacts caused by urbanization. As a result, the implementation of new subdivisions should be reconciled with practices that seek to delay this type of flood and that are economically viable. To this end, this dissertation analyzed the impact of adopting structural and non-structural measures in the implementation of new subdivisions, aiming at decreasing the peak flow and the technical-economic feasibility for four scenarios where the permeability of the soil was varied in the subdivisions to be implemented in southern Minas Gerais. The proposed control measures are paved with porous pavement, that all lots have a green area corresponding to 10% of their total area and that all lots keep 5% of their area free for the direct permeabilization of rainwater on the soil. The results are promising in terms of flows and financial analysis can present alternative paths for the entrepreneur.

Keywords: Urban Drainage, QGis, Permeable Pavement;

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Exemplos de Pavimentos Porosos.....	17
Figura 3.1 - Fluxograma das atividades	22
Figura 3.2- Mapa dos Loteamentos	24
Figura 3.3- Parâmetros Hidrológicos dos Loteamentos	25
Figura 3.4- Área dos Loteamentos – pré-urbanização – Cenário I.....	27
Figura 3.5- Área dos Loteamentos – após a urbanização – Cenário II.....	28
Figura 3.6- Área dos Loteamentos – após a urbanização – Cenário III	29
Figura 3.7- Área dos Loteamentos – após a urbanização – Cenário IV	30
Figura 4.1- Gráficos Vazões versus Cenários	36
Figura 4.2– Aumento da vazão após a implantação dos loteamentos	38
Figura 4.3– Custos versus a Vazão para cada Cenário.....	40
Figura A1.1- Tipos de Revestimentos e Camadas de Base de Pavimentos Porosos.....	51
Figura A1.2- Tipos de Pavimentos Porosos	52
Figura A2.1- Tipos de Pavimentos Intertravados.....	54
Figura A2.2- Compilação de Dados para a composição dos custos do piso permeável escolhido.....	55
Figura A2.3- Compilação de Dados para a composição dos custos do piso impermeável escolhido.....	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Medidas Estruturais.....	14
Quadro 2.2- Medidas não estruturais para controle de inundações urbanas	17
Quadro 3.1- Cenários Propostos.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Parâmetros dos Loteamentos.....	24
Tabela 3.2 - Coeficiente de Runoff	31
Tabela 4.1 - Comparação entre os Coeficientes de Runoff.....	33
Tabela 4.2 - Intensidade de Chuva e Vazões.....	36
Tabela 4.3 – Comparativo Vazões – Pré-Urbanização versus Pior Cenário – Cenário II.....	36
Tabela 4.4 – Comparativo de Vazões – Pior Cenário versus Melhor Cenário.....	37
Tabela 4.5 – Comparativo de Vazões –Cenário III versus Cenário IV	37
Tabela 4.6 – Comparativo de Custos –Cenário II versus Cenário III.....	39
Tabela 4.7 - Custos envolvendo o melhor e pior o Cenários.....	39
Tabela A2.1 - Composição dos Custos de Piso Permeável	56
Tabela A2.2 - Composição dos Custos de Piso Impermeável.....	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEF	Caixa Econômica Federal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais
QGIS	<i>Software</i> QGIS
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índice da Construção Civil.
SUDERHSA	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Paraná
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo Geral.....	3
1.2. Objetivos Específicos.....	3
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Contextualizando a Questão Das Enchentes/Inundações/Alagamentos no Espaço Urbano ...	4
2.2. Drenagem Urbana	7
2.2.1. Histórico sobre a drenagem urbana	7
2.2.2. O conceito de drenagem urbana	8
2.2.3. Legislação Vigente.....	8
2.3. Impermeabilização do Solo.....	9
2.4. Medidas de Controle	11
2.4.1. Microdrenagem	12
2.4.2. Macrodrenagem.....	12
2.5. Medidas Estruturais e Não Estruturais	13
2.5.1. Medidas estruturais	14
2.5.2. Medidas não estruturais.....	17
2.6. Sistema de Informação Geográfica	20
2.6.1. QGIS	20
2.7. Software de Desenhos de Projetos Autocad.....	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1. Descrição Geral da Metodologia.....	21
3.2. Estudo de Caso	23
3.3. Cálculos Hidráulico-Hidrológicos.....	30
4. RESULTADOS DA ADOÇÃO DE MEDIDAS ESTRUTURAIS.....	33
4.1 – Resultados Medidas Estruturais Propostas.....	33
4.2 –Vazões Para Diferentes Cenários	33
4.3 – Análise da Viabilidade Econômica	38
5. CONCLUSÕES.....	41
REFERÊNCIAS	43
ANEXO 1 - PAVIMENTOS POROSOS.....	51
A.1.1 – DEFINIÇÃO:.....	51
A.1.2 - TIPOS:.....	51

A.1.3 - ESCOLHA DO TIPO DE PAVIMENTO A SER ADOTADO:.....	52
A.1.4 - VANTAGENS E DESVANTAGENS:.....	53
ANEXO 2 – DEFINIÇÃO DOS CUSTOS DIFERENTES PAVIMENTOS – CALÇADA;	54
A.2.1 – PAVIMENTO PERMEÁVEL.....	54
A.2.2 – PAVIMENTO IMPERMEÁVEL	56
ANEXO 3 – MAPAS E TABELA.....	59
ANEXO 4 – RESULTADOS PARA DIFERENTES TEMPOS DE RECORRENCIA	60

1. INTRODUÇÃO

A atividade antrópica vem provocando alterações e impactos no ambiente, causando com frequência inundações que, em sua maioria, resultam em danos na infraestrutura das cidades.

Estas enchentes geram graves consequências como perda de vidas e consideráveis prejuízos econômicos e sociais. Estima-se que entre os anos de 2001 e 2014, mais de um bilhão de pessoas foram afetadas, resultando na morte de oitenta mil pessoas. (EM-DAT/OFDA/CRED, 2015). Além das mortes, as enchentes estão diretamente associadas a problemas de saúde e saneamento.

Todo esse cenário está ligado à industrialização e a migração de grande parte da população do campo para cidades. No Brasil, a partir da segunda metade do Século XX, a oferta de emprego se concentrou nos setores de serviços e indústria, havendo uma considerável diminuição na quantidade de pessoas trabalhando na agricultura. O país passa a ser essencialmente urbano, com cerca de 83% de população vivendo nas cidades (TUCCI, 2008), onde a população passou a se concentrar em espaços reduzidos, alterando completamente a configuração e o equilíbrio hidrológico destas áreas.

Durante o ciclo hidrológico, parte da água pluvial naturalmente infiltra no solo, parte escorre pela superfície até encontrar um curso de água próximo. É natural que a vazão do curso d'água varie de acordo com fatores hidrológico-hidráulicos naturais: o relevo, tipo e intensidade da precipitação, cobertura vegetal, capacidade de drenagem da superfície, geologia, morfologia fluvial e extensão do canal e da planície de inundação, e ainda, a interação canal-planície de inundação e rugosidade (MONTE et al., 2016). Esta variação de concentração temporal de água no curso d'água é natural e independe da ação humana.

Entretanto, a partir da ocupação humana nas áreas de cheia dos rios, o fenômeno das enchentes passou a ter impactos relevantes. As construções e a pavimentação das ruas criaram uma camada impermeável que impede a água de infiltrar no solo. A retirada de árvores altera a parcela de evapotranspiração contribuinte na região. As ocupações desordenadas colocam a

população nos pontos de cheias naturais da região. Altera-se todo o equilíbrio natural do ciclo de água e aloca-se parte da população no ponto crítico de escoamento.

Historicamente, o planejamento de ocupação nas bacias era mínimo, levando em consideração apenas o menor custo de implantação e o máximo aproveitamento para os usuários. Questões ligadas aos cuidados e preservação do meio ambiente raramente eram levadas em conta. Assim, o crescimento populacional e a exploração da água resultaram em grandes impactos ambientais, assim como a degradação dos recursos naturais (SANTOS, 2001).

Na presença de estiagens e cheias de menor porte, que representam a maior parte do período hidrológico, limitou-se o escoamento ao leito principal dos rios. Quando ocorrem cheias de grandes proporções, o nível de água se eleva acima das margens dos rios, gerando um extravasamento para a planície de inundação, o que acaba atingindo áreas significativas da bacia, inclusive áreas ocupadas pela população (TUCCI; BERTONI, 2003; PAZ; COLLISCHONN; TUCCI, 2009).

Uma vez que é impossível reverter o cenário urbano tornando-o novamente rural, a engenharia nacional vem estudando o fenômeno e desenvolvendo projetos que mitiguem o impacto das enchentes nas cidades.

De acordo com Puhl (2016) muitos problemas de infraestrutura ligados à drenagem urbana começaram a surgir na segunda metade do século XX, criando o cenário para a criação da Lei nº 6.766 de 19 de dezembro de 1979 (Brasil, 1979), que dispõe sobre parcelamentos do solo urbano. Em seu artigo 2º, da referida lei, considera-se como loteamento “a subdivisão da área em lotes com a finalidade de servir para construção de edificações, onde é preciso haver infraestrutura básica que inclui os equipamentos urbanos de escoamento de águas pluviais”.

Ainda de acordo com Canholi (2014) um sistema de drenagem urbana eficiente depende de critérios gerais de projeto, operação e manutenção dos dispositivos de drenagem urbana, com estudos específicos para cada bacia envolvida. Este conjunto de estudos denomina-se “Plano de Drenagem Urbana”.

Os Planos de Drenagem Urbana podem ser instrumentos de grande valia quando corretamente seguidos, surgindo como forma de organizar o sistema de drenagem dos municípios.

No município do estudo de caso, o Plano de Drenagem Urbano está incluído no plano diretor e código de obras da cidade de implantação dos loteamentos, dentro da Lei Municipal 1.814 de 08 de fevereiro de 1993 (São Lourenço (MG), 1993).

O Capítulo 02 apresenta a revisão bibliográfica do tema. O Capítulo 03 apresenta o estudo de caso e a metodologia proposta para a avaliação do impacto ambiental gerado pela implementação de novos loteamentos. O Capítulo 04 apresenta os resultados dos modelos de mitigação propostos. O Capítulo 05 apresenta as conclusões e considerações finais, analisando as expectativas técnicas e econômicas das soluções propostas.

1.1. Objetivo Geral

O presente trabalho visa estudar o impacto da implementação de novos loteamentos nas bacias hidrológicas susceptíveis a inundações por escoamento urbano, e através de um estudo de caso, verificar as soluções mais eficientes do ponto de vista técnico e econômico, que mitiguem o aumento da vazão de pico decorrente da implementação destes.

1.2. Objetivos Específicos

Durante a análise do estudo de caso, procurou-se responder especificamente neste trabalho:

- Se o volume produzido pelos loteamentos pode influenciar na vazão total urbana;
- Se este aumento de volume influencia o aumento das enchentes;
- Verificar quais medidas mitigadoras propostas tem impacto na diminuição das enchentes da bacia estudada;
- Para as medidas mais eficientes, estudou-se os respectivos custos de implementação, verificando-se sua a viabilidade econômica.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Contextualizando a Questão Das Enchentes/Inundações/Alagamentos no Espaço Urbano

Nos últimos tempos o crescimento da população global, atrelado a pobreza, a escassez de terra e a urbanização vêm aumentando o número de pessoas que vivem em áreas propensas a desastres. Tudo isso está associado ainda às mudanças climáticas, tais fatos têm provocado o aumento da ocorrência de desastres desencadeados e intensificados por eventos extremos, como as inundações, enchentes e alagamentos. Todos esses eventos são considerados fatores de risco, o que vem aumentando nos centros urbanos seja em função das condições naturais ou das atividades humanas, causadas pelo desmatamento, degradação do solo, urbanização e drenagem urbana que se mostra ineficiente (ZHANG et al., 2014).

A enchente é um fator que evolui o escoamento superficial das águas decorrentes de chuvas fortes, podendo ocorrer após suprir a retenção natural da cobertura vegetal, saturar os vazios do solo e preencher as depressões do terreno, as águas pluviais buscam os caminhos oferecidos pela drenagem natural e/ou artificial, o que acaba fluindo até a capacidade máxima disponível, no sentido do corpo de água receptor final (COSTA, 2001).

As enchentes encontram-se entre os desastres naturais que se caracterizam por alta frequência e baixa severidade em termos de óbitos, mas sendo responsáveis por grande proporção de danos à infraestrutura das cidades, envolvendo as habitações, as condições de vida das comunidades e as sociedades de baixa renda (FREITAS, C. M.; XIMENES, 2012).

As inundações são consideradas um risco relacionado ao clima que é mais difundido em todo o mundo, podendo ocorrer praticamente em qualquer lugar. Uma inundação é definida como água transbordando em terra que geralmente se encontra seca (MARCIANO, 2019). As inundações ocorrem como resultado de fortes chuvas, mas podem surgir de várias maneiras, inclusive podem não estar ligadas diretamente a eventos climáticos em andamento. Nesse sentido, a água envolvida nas inundações caiu como precipitação em algum momento, talvez há muito tempo, sendo assim, as origens das inundações, portanto, estão em processos

atmosféricos, criando precipitação, não importa qual evento específico causa a inundação (SAREWITZ et al., 2010).

De acordo Ali (2018) as inundações podem ser consideradas um desastre natural, afetando um número significativo de pessoas afetadas população, além de causar mortes e danos econômicos. Um dos esforços para minimizar as inundações e perdas pode estar em fornecer informações úteis através de mapas de inundação de várzeas, ou seja, qual a real distribuição espacial do risco de inundação.

As enchentes e inundações urbanas são comuns e vem ocorrendo desde o surgimento das cidades, sendo assim, as cheias ocorrem quando as águas dos rios e cursos d'água extravasam o seu leito natural devido a pouca capacidade de transporte desses sistemas, ocupando os espaços utilizados pela população para moradia, ruas, praças, entre outros (TUCCI, 2003).

As tendências de crescimento e concentração da população em áreas urbanas, sem a adequada infraestrutura, e com degradação ambiental e desigualdades sociais apontam um crescimento significativo das populações expostas e das perdas econômicas relacionadas às enchentes, assim como a intensificação das mudanças climáticas, que representam um aumento na frequência e na gravidade desses eventos (WORLD BANK, 2010).

Podem-se citar ainda os alagamentos que comprometem, por exemplo, o trânsito de veículos leves da cidade, pois impede o deslocamento e gera congestionamentos enquanto durar a precipitação e até duas ou três horas após o acontecimento. Outro fato que pode contribuir para a redução do escoamento superficial da água da chuva é a ligação dos sistemas de esgoto e de drenagem pluvial, e conseqüentemente, em períodos de intensa precipitação, nos locais em que há um sistema de tratamento destes fluidos, não existem meios para tratar todo o volume escoado (TONETTI et al., 2013).

As cidades, de uma forma geral, principalmente nos países em desenvolvimento, sofrem com problemas sérios de infraestrutura, envolvendo questões relacionadas à ausência de serviços de saneamento básico na maioria dessas cidades, e quando existem, se mostram precários, e as cheias urbanas têm relação direta com esta problemática (POMPÊO, 2000).

Uma das principais causas de enchentes ocorre através da intervenção humana, como por exemplo, a ocupação irregular das áreas inundáveis. Muitas dessas ocupações ocorreram no passado como um meio de facilitar o transporte fluvial e o consumo de água pelas populações, onde as cidades passaram a se desenvolver em áreas ribeirinhas através da observação da variação dos níveis de água (CASTILHO; PINTO; OLIVEIRA, 2005).

Está envolvida ainda a transformação e a modificação da superfície dos terrenos, tornando-os menos permeáveis à infiltração das águas e diminuindo a capacidade de retenção natural, contribuindo para os escoamentos superficiais e resultando numa maior a probabilidade de inundações (COSTA, 2001).

As inundações também podem ter causas naturais, que são resultado de eventos hidrológicos muito intensos, geralmente em um curto período, os quais não podem ser previstos com exatidão e nem terem a sua ocorrência evitada. Por outro lado, as ações humanas, por sua vez, também podem provocar inundações ou agravar de forma significativa os efeitos destas precipitações intensas em uma determinada região, o que exige a atenção de profissionais e da sociedade como um todo. (CASTILHO; PINTO; OLIVEIRA ,2005)

As áreas urbanas mais acometidas pelas inundações são aquelas ocupadas e urbanizadas a partir das zonas mais baixas, próximas aos cursos d'água, em direção às colinas, o que ocorre em função da indispensabilidade de utilizar os corpos d'água para as necessidades básicas da população (CANHOLI, 2014).

Tucci (2003) cita ainda que em função das inundações serem eventos naturais, de tempos em tempos, passou-se a observar que as áreas mais baixas ficavam propensas a sofrer com mais frequência com as cheias, e a partir de conhecimentos de eventos históricos, começou-se a ocupar as partes mais elevadas, no entanto, nem toda a população migrou, a maioria ainda se instala nessas áreas, sendo as que mais sofrem com as inundações.

O mesmo autor pontua ainda que quando a quantidade de chuvas em um determinado tempo é alta, o solo encharca e perde a capacidade de infiltrar todo o volume, escoando o excesso para os sistemas de drenagem, inundando primeiro os pontos mais baixos, seguindo a topografia, e assim, acaba atingindo grande parte da população.

É válido apontar ainda que o desmatamento e a substituição da cobertura vegetal natural também são resultados da urbanização desenfreada e mal planejada das grandes cidades, que também são os principais fatores que modificam e que, em diversas situações, acabam resultando na redução de tempos de concentração na bacia juntamente com um aumento do volume de escoamento superficial, promovendo o extravasamento dos cursos d'água (POMPÊO, 2000).

De uma forma geral, a questão das inundações ainda é um fator que gera problemas em grandes proporções. A grande maioria dos municípios brasileiros não dispõe de programas de investimentos direcionados para intervenções de controle e amenização dos seus efeitos, que devem ser implementados, gradativamente, durante o crescimento urbano. Pelo contrário, o

que se observa atualmente é o agravamento irremediável das consequências das enchentes ordinárias (COSTA, 2001).

As inundações podem causar impactos socioeconômicos e para minimizar essa ocorrência, é preciso buscar soluções de prevenção que podem ser realizadas através de medidas estruturais e não estruturais. Em sua maioria, as medidas não-estruturais são financeiramente mais viáveis, focando na prevenção, conservação, e assim, buscam uma melhor harmonia entre o meio ambiente e áreas urbanas em torno dos rios (TUCCI, 2003).

2.2. Drenagem Urbana

2.2.1. Histórico sobre a drenagem urbana

Em meados da década de 60, em muitos países, predominou a visão higienista, que com o tempo passou a ser questionada, já que transfere o problema para outras áreas, causando problemas futuros. Passou-se então a investir em ações destinadas na melhoria do fluxo dos rios e canais, e assim, buscando uma melhora no fluxo na própria calha do curso d'água, mas sem investir na geração do escoamento (CANHOLI, 2014).

De acordo com Souza (2013) desde muito tempo os sistemas de drenagem urbana são realidade no Brasil, onde sempre se buscou um sistema hidráulico mais eficiente. Focado em uma visão higienista e a noção do saneamento, com o intuito de se buscar uma forma de drenar, criando estruturas de micro e macrodrenagem para conduzir a água para fora das cidades, e assim, conseqüentemente, evitar as enchentes.

A percepção sobre a ocorrência de enchentes onde a maioria da população se aglomera passou a ser uma preocupação do ser humano, que passou a buscar meios para controlar as águas pluviais, e assim, começaram a desenvolver os sistemas de drenagem artificiais (MITTELSTADT JÚNIOR, 2014).

No Brasil, de uma forma geral, a maioria das cidades sofre com problemas de alagamentos, inundações, cheia, que envolvem fatores como: ocupação desordenada das áreas de escoamento natural das águas pluviais e a falta de um sistema de drenagem urbano que possa evitar que esses alagamentos ocorram, que são questões que dependem diretamente da ação do poder público na área de habitação e saneamento básico (ALMEIDA, 2014).

Para Tucci (2003) as inundações estão relacionadas à urbanização, que em muitos casos, ocorre de maneira desenfreada, ocorrendo na drenagem urbana devido às chuvas intensas e ao efeito da impermeabilização do solo ou obstrução que impede seu escoamento.

Em geral, os alagamentos se enquadram nesse tipo de inundação, salvo em outras situações, onde não ocorrem chuvas intensas como uma das causas.

Nas últimas décadas os problemas ligados à inundação ganharam uma atenção especial, sendo objeto de planejamento das cidades, e passaram a sofrer restrições quanto à ocupação por edificações e outras obras, com ações voltadas para a minimização de perdas de carga hidráulicas, garantindo assim, que as águas ocupam naturalmente essas áreas em períodos de cheia (POMPÊO, 2000).

2.2.2.O conceito de drenagem urbana

A drenagem urbana funciona como um sistema de manejo, através de monitoramento e relativo controle ambiental e material de águas, onde seu volume e fluxos, no território da cidade, é concebida a partir de sistemas e de estruturas. Os projetos voltados para a drenagem urbana pressupõem a possibilidade de integração e co-funcionamento de soluções espacialmente distantes, que se interligam pelo fluxo da água, através dos vasos comunicantes e pela relação entre declividades, vazões, volumes e áreas permeáveis e impermeáveis (PONTE et al., 2014).

O sistema de drenagem básico de uma cidade deve se estruturar respeitando todos os aspectos legais e técnicos, obedecendo a dimensões econômicas, sociais, ambientais e institucionais, assim como uma composição física mínima com pavimentação de ruas, sarjetas e meio-fio, bocas de lobos, galerias de drenagem e valas. É válido ressaltar ainda que todos esses elementos devem estar interligados e funcionando de forma adequada ou corre-se o risco considerável de ocorrer falha no sistema de drenagem (PHILIPPI JUNIOR et al., 2005).

Nesse cenário está presente ainda a bacia hidrográfica que é composta por uma rede de elementos de drenagem constituída por rios, riachos, córregos e pântanos ou várzeas, que se formam naturalmente e se mantêm em função da dinâmica das precipitações e das características do terreno, como tipo de solo, declividades, cobertura vegetal, entre outros. A partir do uso urbano intenso do solo da bacia hidrográfica, este sistema acaba se alterando de forma substancial pela introdução de elementos artificiais e pelo aumento das descargas (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, 2006).

2.2.3.Legislação Vigente

O zoneamento da área urbana é definido pelo Plano Diretor de cada Município, assim, cada município pode definir, através de legislação própria, como será a ocupação do espaço urbano.

No município de estudo, a Lei Municipal 1.814 de 08 de fevereiro de 1993 (São Lourenço (MG),1993) contempla o Plano de Drenagem Urbano. O texto foi ligeiramente alterado pela Lei Municipal 2.405 de 21 de dezembro de 1999 (São Lourenço (MG),1999). A legislação define os seguintes parâmetros para novos loteamentos;

Artigo 5º - Os loteamentos deverão atender, pelo menos, aos seguintes requisitos, complementares àqueles definidos no Artigo 4º da Lei Federal:

I - As áreas destinadas ao sistema de circulação, à implantação de equipamento comunitário, bem como a espaços livres de uso público, corresponderão ao percentual mínimo de 35% da área total a ser loteada, sendo que, deste percentual, é obrigatória a destinação de, no mínimo:

a) 5% para equipamentos comunitários;

b) além dos dispositivos constantes na Lei Municipal n.º 1814, parcelamento do solo urbano, passa a ser obrigatório por parte do Loteador, a execução da construção de praças e reflorestamento, que atualmente enquadram-se nos percentuais destinados à área verde.

(área de proteção 7%) total

(área de praças 3%) 10%

(Vide Lei Municipal n.º 2405/99)

Definiram-se os cenários do estudo de caso baseados na legislação vigente, considerando que os 10% definidos no Inciso I do Artigo 5 sejam de área permeável. Os cenários estão descritos no Capítulo 03 e os resultados estão expostos no Capítulo 04 e no Anexo 04.

2.3. Impermeabilização do Solo

A urbanização desenvolveu-se de forma intensa nos últimos anos, principalmente nas grandes cidades, onde as ocupações do solo se deram em torno dos cursos hídricos, na maioria das vezes de forma indevida, provocando complicações em períodos chuvosos com as inundações. As inundações urbanas ocorrem como resultado de alterações nos recursos hídricos, na expansão de áreas impermeáveis, tendo como consequência a redução da infiltração de água no solo, promovendo ainda, um aumento do escoamento superficial, potencializando as vazões dos cursos hídricos e elevando assim, os prejuízos das populações adjacentes (SANTOS JÚNIOR; SANTOS, 2013).

O solo é considerado um dos principais recursos naturais, no entanto, a partir do crescimento urbano desordenado, ele tem se tornado um recurso secundário, onde não são consideradas suas características e potencial de uso, inviabilizando-os para o desenvolvimento vegetal. Dessa forma, o processo de urbanização acelerado tem provocado um excesso de superfícies impermeabilizadas, o que produz uma redução da infiltração de águas das chuvas,

aumentando os riscos de erosão, compactação e deslizamentos de solos, assim como alagamentos de córregos e ruas (CADORIN; MELLO, 2011).

De acordo Leite et al. (2011) as impermeabilizações das bacias hidrográficas ocorrem quando a cobertura vegetal é removida, resultando o mau uso e ocupação do solo, onde os processos de urbanização, não leva em consideração as peculiaridades das bacias tais como: as características pedológicas, climáticas, geográficas, geológicas e ecológicas das áreas modificadas.

No ambiente urbano, a impermeabilidade do terreno pode modificar o ciclo hidrológico nas fases de escoamento superficial e de infiltração, onde podem-se citar modificadores, como a pavimentação asfáltica, construção de obras para acessos públicos e obras de drenagem e saneamento. Esses modificadores podem potencializar fatores que contribuem para as inundações, sendo eles, o aumento do escoamento superficial e o impedimento da infiltração de água no solo (FRITZEN; BINDA, 2011).

Para Tucci (2009) a impermeabilização é uma das principais causas das inundações e deslizamentos em áreas urbanas, pois diminui as áreas verdes, reduzindo a capacidade de infiltração de água no solo, e assim, aumenta a capacidade de escoamento, devido a adoção de condutos e superfícies que facilitam a rápida movimentação da água. É um conjunto de fatores que faz com que toda a água da chuva que cai sobre uma cidade seja rapidamente drenada para os corpos hídricos principais, no entanto, estes não têm capacidade de receber toda essa água, devido ao seu tamanho ou dinâmica natural, além de outros problemas, como assoreamentos e depósitos de resíduos sólidos que também colaboram, trancando o escoamento livre.

Dessa forma, pode-se considerar que quanto mais a cidade cresce, maior a tendência a impermeabilização, e como consequência, pode ocorrer um maior risco destes fenômenos passarem a ser usuais. No caso das áreas rurais, ao longo do ano os solos reduzem e aumentam sua capacidade de absorção de água, conforme o estágio da cultura, a taxa de cobertura, o tipo de manejo etc. Já nas áreas urbanas os solos perdem por definitivo sua capacidade de absorção devido à larga adoção de materiais impermeabilizantes como concreto, asfalto, cerâmicas entre outros (CADORIN; MELLO, 2011).

De acordo com Tucci, Collischonn (2000) este fenômeno pode ocorrer de formas diferenciadas, por exemplo, quando uma área é urbanizada, inicialmente ocorre um intenso revolvimento do solo, causando elevadas taxas de erosão, com muita emissão de sedimentos. Mas com o passar do tempo, por conta da impermeabilização, acaba reduzindo ou estabilizando a emissão de sedimentos, mas descaracterizando o ciclo hidrológico.

Até mesmo em áreas onde o solo não é completamente impermeabilizado o perfil hidrológico não será mais o mesmo, pois muitas vezes o revolvimento e degradação causam a remoção total dos horizontes superficiais, causando ainda uma exposição das camadas mais profundas, menos eficientes nos processos de infiltração de água (CADORIN; MELLO, 2011).

Outros problemas como deslizamentos, rastejamento, movimentos de massa também é consequência da dinâmica da água e do solo que ocorrem em meio urbano. A remoção de camadas de solo diminui a capacidade efetiva de absorção da água, de forma que rapidamente pode ocorrer a saturação pela água da chuva. E assim, quando isto ocorre a camada de solo passa a se comportar como um meio líquido, escoando encosta abaixo (BRAGA; CARVALHO, 2003).

A água das chuvas é distribuída de diferentes formas depois que chega às cidades, sendo que, parte dela volta para o ar através do processo de evapotranspiração, dando sequência ao ciclo hidrológico e condicionando as chuvas. Parte dessa água participa do processo de infiltração no solo, que irá abastecer os lençóis de águas, podendo ocorrer também, a infiltração superficial, que resulta em um umedecimento do solo. Pode acontecer ainda um processo de escoamento sobre a superfície do solo que, quando intenso, pode causar erosões, deslizamentos e enchentes, o que pode ocasionar o empobrecimento do solo (GONÇALVES; PAIVA, 2004).

Um dos principais fatores do processo de inundações urbanas está ligado à falta de observação de fenômenos climatológicos e hidrológicos, assim como a falta de investimento em tecnologias que auxiliem os projetos de drenagem. Pode-se incluir ainda a falta de instrumentos de gestão, política e planejamento que visem medidas de controle da drenagem pluvial urbana, assim como o disciplinamento correto dos usos e ocupações do solo e o controle dos resíduos sólidos urbanos (SANTOS JÚNIOR; SANTOS, 2013).

O poder público deve estabelecer medidas de incentivo à redução da impermeabilização do solo, assim como o uso das calçadas com faixas de área permeável proporcionando a redução da impermeabilização, diminuindo o escoamento superficial da água através do aumento da infiltração no solo sem pavimento, proporcionando assim, condições que evitam as inundações e enchentes (CADORIN; MELLO, 2011).

2.4. Medidas de Controle

O sistema de drenagem deve ser entendido como o conjunto da infraestrutura existente em uma cidade para realizar a coleta, o transporte e o lançamento final das águas superficiais. Se constitui a partir de uma série de medidas que visam minimizar os riscos a que estão

expostas as populações, diminuindo os prejuízos causados pelos alagamentos, inundações, podendo ser dividido em: microdrenagem e macrodrenagem (TUCCI et al., 2001).

2.4.1. Microdrenagem

A microdrenagem tem como principal característica seus projetos voltados para redes pluviais, bocas de lobos e outras estruturas responsáveis por conduzir as águas até os sistemas receptores (CANHOLI, 2014).

É considerada a base da drenagem urbana, pois é composto pelos sistemas que recebem as águas de chuva na rede urbana. Esses sistemas iniciais de captura e transporte das águas de chuvas são compostos pelos pavimentos das vias públicas, meio-fio, sarjetas, sargentões, bocas de lobo, rede de galerias de águas pluviais, poços de visita, canais de pequenas dimensões, assim como os condutos forçados e estações de bombeamento sempre que necessário (FUCHS, 2011).

De acordo com Moura (2004) os sistemas que compõe a microdrenagem possuem pontos de captação ao longo das ruas, a água escoava pelas sarjetas até encontrar esses pontos conhecidos por bocas de lobo. Esses pontos são unidos por uma rede de tubulações, formando malhas que convergem para redes maiores, e sem nenhum tratamento ou armazenamentos intermediários chegam ao corpo receptor.

2.4.2. Macrodrenagem

A macrodrenagem engloba ações preventivas e corretivas, o que leva em consideração o sistema como um todo, de maneira integrada, abrangendo toda a bacia hidrográfica, podendo estar presente em um ou mais municípios, sendo esse o principal foco dos Planos de Drenagem Urbanas, o que é de suma importância para o planejamento das cidades, mas que ainda pouco utilizados (CANHOLI, 2014).

A macrodrenagem é, na verdade, um sistema natural, que já existia até mesmo antes da urbanização moderna, e é constituída pelos córregos localizados nos talvegues dos vales, e que, pela crescente urbanização, necessitaram ocasionalmente de obras que os modifiquem ou complementem, como canais, barragens, diques e outros. Apesar da essência de um projeto de macrodrenagem ser de cunho hidráulico, há notável influência da drenagem nas condições socioeconômicas e ambientais da cidade e de sua região, em que a eventual “disfunção” do sistema pode gerar danos na economia individual e regional, além da deterioração urbana e ambiental. De tal forma, se a macrodrenagem não comportar o volume de água trazido pela microdrenagem, e a mesma empoeçar na superfície, prejudica-se o escoamento natural das vias (CARNEIRO; MIGUEZ., 2011, p.32).

Pompêo (2000) aponta ainda que novos estudos acerca da macrodrenagem preveem a redução das vazões a partir de armazenamentos temporários, o que pode ocorrer nos próprios lotes urbanos geradores. No entanto, o grande problema desse tipo de sistema é que depende da instalação e manutenção permanente feita pela própria população, o que preconiza, o comprometimento de todos. E ainda, mesmo promovendo um controle em sua origem, os sistemas de coleta e as galerias precisam ser dimensionados para serem capazes de atuar de forma independente ou em situações emergenciais.

Os sistemas de macrodrenagem são dimensionados para eventos mais críticos, o que deve funcionar em conjunto com os sistemas de microdrenagem, pois eles podem retardar as águas de chuva, criando assim, uma relação que se complementa. Pode-se dizer então, que a macrodrenagem é essencial para evitar inundações em cidades urbanizadas, sendo ela uma medida estrutural dispendiosa, onde é necessário ser precedida por bons sistemas de microdrenagem, obtendo-se uma eficiência adequada (FUCHS, 2011).

É preciso considerar que a urbanização crescente e o uso do solo de forma inadequada são as principais causas da perda de capacidade de armazenamento natural das águas. Diante disso, tem-se a necessidade de encontrar outros locais para armazenar os deflúvios, diminuindo os danos das inundações, trazendo à tona a urgência de um planejamento integrado, com medidas de prevenção e/ou correção, que podem ser classificadas como medidas estruturais e não estruturais, tema que será abordado a seguir (CANHOLI, 2014).

2.5. Medidas Estruturais e Não Estruturais

De acordo com Amaral, Santoro, Tominaga (2009) o controle das cheias, sejam elas enchentes ou inundações, conta com dois tipos de medidas distintos, e quando trabalhadas em conjunto de forma correta complementam uma a outra. As medidas estruturais são aquelas que envolvem obras de engenharias que geralmente são de alto custo, como construção de uma barragem, por exemplo. Já as medidas não estruturais são referentes a ações de políticas direcionadas ao planejamento de uso do solo, como o gerenciamento de zoneamento, educação ambiental e planos de defesa civil.

Philippi Jr. et al. (2005) pontuam que o sistema de drenagem parte de dois tipos de intervenções no ambiente, as medidas estruturais e as medidas não estruturais, onde as estruturais correspondem obras hidráulicas necessárias para um bom escoamento das águas pluviais e as não estruturais dizem respeito a propostas com objetivos de minimizar os efeitos causados pelas águas pluviais, o que não implicam somente em grandes obras de engenharia, mas também ações de educação da população, onde as duas medidas se complementam.

Tucci; Bertoni (2003, p. 63) pontuam que:

As medidas para o controle da inundação podem ser do tipo estrutural e não-estrutural. As medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial evitando os prejuízos decorrentes das enchentes, enquanto as medidas não-estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos pela melhor convivência da população com as enchentes.

Para que o controle de inundação seja eficiente torna-se necessário a associação de medidas estruturais e não-estruturais, de modo que garanta à população o mínimo de prejuízo, possibilitando ainda, uma convivência harmoniosa com as águas (BARBOSA, 2006).

Essa integração das medidas estruturais e não estruturais é de suma importância como cita Enomoto (2000), onde afirma que o gerenciamento das áreas de enchente considera a visão integrada de tais medidas podem diminuir dos danos causados por enchentes.

Apesar das medidas estruturais associadas às medidas não estruturais poderem ser aplicadas para a mitigação de inundações em bacias urbanizadas, as ações públicas, em muitas cidades brasileiras, estão indevidamente voltadas para medidas estruturais de visão pontual. Isso talvez se explique em virtude de as medidas estruturais serem, normalmente, obras de engenharia, o que traz a grandiosidade aos olhos da população com certa sensação de proteção (BARBOSA, 2006, p. 15).

Segundo Barbosa (2006) as construções de barragens, diques, canalizações em muitos dos casos são necessárias, porém, as ações de cunho social, econômico e administrativo também tem um papel decisivo, principalmente através da educação e da conscientização por parte da população e do poder público.

2.5.1. Medidas estruturais

As medidas estruturais dizem respeito às obras envolvidas no processo da drenagem, englobando as obras para aceleração do escoamento, como canalizações e afins, obras de retardamento de fluxo como os reservatórios de contenção, assim como as obras para restauração das calhas naturais e de desvio do escoamento como túneis e canais, auxiliando a edificação na proteção contra enchentes (CANHOLI, 2014). O Quadro 2.1 expõe os principais tipos de medidas estruturais.

Quadro 2.1 - Medidas Estruturais

Aumento da capacidade de escoamento das calhas	Diques marginais ou anulares Melhoria das calhas (aumento da seção transversal, desobstruções e retificações)		
	Canalização (melhoria da calha e revestimento, substituição da calha por galeria / canal, canal de desvio)		
Redução das vazões de cheias	Reservatórios nos cursos d'água principais		
	Medidas para detenção das águas	Medidas locais	armazenamento em telhados, cisternas, pluviais bacias de detenção em parques, etc.)

Medidas para controle do escoamento superficial direto:		Medidas fora do local (armazenamento em leitos secos ou em reservatórios implantados em pequenos cursos d'água)
	Medidas para infiltração das águas pluviais	Medidas locais (poços, trincheiras, bacias de infiltração, escoamento dirigido para terrenos gramados, etc)

Fonte: Ramos, Barros, Palos (2009).

De acordo com Barbosa (2006) as medidas estruturais são medidas físicas de engenharia desenvolvidas com intuito de reduzir o risco de enchentes, podendo ser extensivas ou intensivas, onde as extensivas são aquelas que agem na bacia hidrográfica, com o objetivo de modificar as relações entre precipitação e vazão, como modificação da cobertura vegetal no solo, reduzindo assim, os picos de enchente e controla a erosão da bacia. No caso das intensivas, elas agem no rio e podem ter como foco a aceleração, retardamento ou desvio do escoamento.

As medidas extensivas agem no contexto global da bacia, procurando modificar as relações entre precipitação e vazão, como a alteração da cobertura vegetal do solo, que é direcionada para a redução dos picos de enchentes, controlando a erosão da bacia. Podem ser implementadas numa escala menor, geralmente presente nos cursos d'água e superfícies, e podem ser obras de contenção como diques e pôlderes, assim como as retificações, ampliações de seção e corte de meandros de cursos d'água, além do desvio do escoamento por canais e de retardamento e infiltração, como reservatórios, bacias de amortecimento e dispositivos de infiltração no solo (SUDERHSA, 2002).

De acordo com Martins (2012) esta medida como uma forma de compensar os impactos gerados pela urbanização, onde se pode destacar seu grande potencial de aplicação na pavimentação de ruas, estacionamentos de veículos, pátios para garantias de acesso etc. Tudo isso pode ainda estar aliado à necessidade de abrir espaços para a infiltração da água no solo, à redução do escoamento superficial e à minimização de efeitos no período de cheias.

De uma forma geral, as medidas estruturais são de grande importância para a solução de grande parte dos problemas das inundações, no entanto, quando isoladas não representam soluções eficazes e sustentáveis, sem contar com os altos custos de sua implantação e manutenção. É preciso salientar que a população também possui influência direta quando se busca soluções para a minimização das inundações (BARBOSA, 2006).

É necessário pontuar ainda que um adequado sistema de drenagem urbana proporcionará uma série de benefícios às cidades, onde se pode frisar: o desenvolvimento do sistema viário, redução de gastos com manutenção das vias públicas, redução no gasto com doenças de vinculação hídrica, escoamento rápido das águas superficiais, reduzindo os problemas do trânsito e da mobilidade urbana por ocasião das precipitações, assim como a

eliminação da presença de águas estagnadas e lamaçais, recuperação de áreas alagadas ou alagáveis, resultando em segurança e conforto para a população (ALMEIDA, 2014).

2.5.1.1. Medidas de Controle na Fonte

Os sistemas tradicionais de drenagem urbana visam à condução rápida das águas pluviais para jusante, o que pode ocasionar situações de enchente, dada a diminuição do tempo de retenção. Para solucionar estes problemas, surgiram os dispositivos de controle na fonte, que procuram reduzir e retardar escoamentos urbanos. Ao aumentar o tempo de retenção, estes mecanismos, melhoram a eficiência dos sistemas tradicionais de esgotamento pluvial podendo até mesmo evitar ampliações destes sistemas, que são muitas vezes inviáveis e de curta vida útil.

As medidas de controle na fonte são basicamente de dois tipos:

- Dispositivos de Armazenamento;
- Dispositivos de Infiltração.

Os primeiros normalmente têm por objetivo primordial o retardo do escoamento pluvial para sua liberação controlada ao seu destino, que pode até ser um ponto de captação de uma rede pluvial existente, amortecendo o pico. São exemplos típicos destes dispositivos de armazenamento: Reservatórios residenciais em lotes, bacias de retenção e detenção nos loteamentos ou na macrodrenagem.

Os dispositivos de infiltração promovem a absorção pelo solo da água pluvial, reduzindo o volume de escoamento encaminhado ao sistema pluvial. São exemplos deste tipo de dispositivos: Pavimentos porosos, trincheiras de infiltração, faixas e valas gramadas.

Para o presente estudo, procuramos adotar medidas mitigadoras dentro do limite territorial dos loteamentos e de fácil implementação. Assim, as medidas estruturais para controle do escoamento superficial direto não se aplicam, dados os maiores custos, dificuldade de implementação e extrapolação do limite territorial dos loteamentos. As medidas mitigadoras que se adaptam às premissas são os pavimentos porosos.

A seguir, na Figura 2.1 estão alguns exemplos de implementação de pavimentos porosos;

Figura 2.1 – Exemplos de Pavimentos Porosos



FONTE: CANHOLI (2014)

No Anexo 1 do presente trabalho é apresentado mais detalhes sobre o pavimento poroso, os tipos, funcionalidade, aplicabilidade, fatores que influenciam o projeto, vantagens e desvantagens, etc.

2.5.2. Medidas não estruturais

As medidas não estruturais têm como principal objetivo a redução ao máximo de prejuízos causados por possíveis alagamentos, orientando a população quanto aos fatores que geram as inundações ou alagamentos, criando um centro de previsão, um sistema de informações de tempo, o que pode ocorrer em parceria com a Defesa Civil nas esferas municipal e estadual, através de programas de prevenção, mapeamento de locais críticos e treinamento da população principalmente em locais com risco de ocorrência de evento adverso (ALMEIDA, 2014).

De acordo com Barbosa (2006) as medidas não estruturais estão relacionadas à melhor convivência da população com as cheias, sendo que, para que estas medidas se tornem eficazes é necessária a participação conjunta entre o poder público e a comunidade local, garantindo assim, uma convivência tranquila sem prejuízos materiais e, principalmente, perdas humanas.

No Quadro 2.2 estão presentes as principais medidas não estruturais com suas respectivas características e objetivos.

Quadro 2.2- Medidas não estruturais para controle de inundações urbanas

Medidas	Características	Objetivos
Plano diretor	Planejamento das áreas a serem desenvolvidas e a densificação das áreas atualmente loteadas.	Evitar ocupação sem prevenção e previsão.
Zoneamento	Regras para a ocupação das áreas de maior risco de inundação.	Minimização futura de perdas materiais e humanas em face das grandes cheias.
Controle do desmatamento	Deve ser feito em todos locais possíveis.	Prevenir a erosão e o assoreamento.

Medidas	Características	Objetivos
Educação Ambiental	Para ser realizado junto à população.	Conscientizar a população que sofre ou poderá sofrer com as inundações.
Medidas de apoio à população	Lugares seguros para preservar a população e trabalhos. Construção de abrigos temporários, meios de evacuação, patrulhas de segurança.	Inserir nos possíveis atingidos pelas inundações um senso de proteção.
Distribuição de informação sobre as enchentes	Programa de orientação da população sobre as previsões de enchentes.	Aprimorar a qualidade da assistência externa e a reduzir falhas como a falta de informações, a má avaliação das necessidades e formas inadequadas de ajuda.
Reassentamento	Reassentamento de residentes ilegais ocupantes das margens de rios, e de residentes legais nas áreas de enchente.	Retirar a população dos locais de risco.
Soluções de mitigação	Promover o aumento das áreas de infiltração e percolação e armazenamento temporário.	Aumentar a eficiência do sistema de drenagem à jusante e da capacidade de controle de enchentes dos sistemas.
Sistema de alerta	Sistema utilizado para prevenir a população com antecedência de curto prazo, em eventos mais raros.	Ajudar no controle das estruturas hidráulicas no sistema do rio, e evitar o pânico.
Construções a prova de enchentes	Pequenas adaptações nas construções.	Reduzir as perdas em construções localizadas nas várzeas de inundação.
Seguro contra enchentes	Proteção econômica contra inundações	Diminuir os prejuízos individuais causados pelas inundações.

Fonte: Adaptado de Enomoto (2000).

As medidas não estruturais buscam reduzir impactos sem modificar o risco das enchentes naturais e, em alguns casos, estipular princípios que revertam os riscos artificialmente através de ações antrópicas às condições naturais. As ações não estruturais em drenagem urbana abrangem os mecanismos de estipulação dos princípios básicos, além de estabelecer princípios que devem ser respeitados, como legislação, normas e manuais técnicos. Direciona-se ainda a preparação da sociedade para que eles venham a ser implantados e obedecidos na atualidade e no futuro (SUDERHSA, 2002).

São as medidas direcionadas a reduzir os danos ou consequências das inundações, não por meio de obras, mas pela introdução de normas, regulamentos e programas que visem, por exemplo, o disciplinamento do uso e ocupação do solo, a implementação de sistemas de alerta e a conscientização da população para a manutenção dos dispositivos de drenagem, como corrobora Barbosa (2006, p. 44):

As medidas não-estruturais defendem na sua concepção a melhor convivência da população com as cheias. Não são projetadas para dar proteção completa, já que para isso teria que prever o maior evento possível o que não é uma tarefa fácil e nem confiável.

Segundo Canholi (2014) as medidas não estruturais estão voltadas ao planejamento, com ações de regulamentação do uso e ocupação do solo, direcionado ainda a uma educação ambiental, disciplinando a ocupação do território, o comportamento de consumo das pessoas e as atividades econômicas. Envolve também a criação de zoneamentos para áreas propensas a inundações, impedindo construções que possam prejudicar a impermeabilização do solo.

As medidas não estruturais fazem parte de um sistema que demanda a aquisição de dados em tempo real, assim como a transmissão de informações para um centro de análise, a previsão em tempo real com modelo matemático e um Plano de Defesa Civil, envolvendo ações individuais ou com participação da comunidade, com a finalidade de reduzir perdas durante eventos providos de enchentes. São medidas que permitem reduzir os impactos gerados nas cheias e auxiliar no planejamento da ocupação de várzea, a partir da existência de um sistema de alerta para avisar a população que ocupa áreas com risco de inundação. Assim, é preciso considerar alguns aspectos que um sistema de alerta de previsão em tempo real precisa levar em consideração:

- a) Sistema de coleta e transmissão de informações.
- b) Sistema de processamento de informações.
- c) Modelo de previsão de vazões e níveis.
- d) Procedimentos para acompanhamento e transferência de informações para a Defesa Civil e Sociedade.
- e) Planejamento das emergências através Defesa Civil (TUCCI; BERTONI, 2003).

Pode-se esclarecer ainda que, as ações de planejamento de emergência devem envolver a sociedade local através da Prefeitura e a organização da Defesa Civil, buscando o atendimento destas emergências, sendo preciso estabelecer procedimentos de evacuação e convivência com a inundação (ALMEIDA, 2014).

É uma abordagem considerada complexa por muitos autores, pois inclui aspectos técnicos de engenharia, sanitários, ecológicos, legais e econômicos, além de exigir uma conexão muito mais estreita com a concepção e gestão dos espaços urbanos. É preciso ressaltar ainda que, não é possível reduzir o controle da drenagem urbana apenas com a implantação de medidas estruturais e não estruturais. Todas as medidas de controle devem integrar-se ao planejamento ambiental do meio urbano, deixando de ser apenas uma preocupação da engenharia e do planejamento administrativo, sendo necessário também uma conscientização

da população como um todo, e também das esferas do governo que precisam buscar soluções técnicas que atendam ao planejamento ambiental mais amplo e eficaz (SUDERHSA, 2002).

2.6. Sistema de Informação Geográfica

Para avaliar o impacto dos loteamentos na bacia hidrográfica, faz necessário em primeiro lugar conhecer as suas características. Pode-se usar um programa de SIG (Sistema de Informação Geográfica), por exemplo, o QGIS. Este pode ser usado para caracterização do terreno e respectiva cobertura, levantamento de áreas, etc.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) visam a coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico. O sistema de geoprocessamento é o destinado ao processamento de dados referenciados geograficamente (ou georeferenciados), desde a sua coleta até a geração de saídas na forma de mapas convencionais, relatórios, arquivos digitais, etc. devendo prever recursos para sua estocagem, gerenciamento, manipulação e análise.

2.6.1. QGIS

O QGIS pode ser compreendido como o conjunto de técnicas computacionais e procedimentos informatizados para transformar dados georreferenciados em informação. O geoprocessamento é uma técnica amplamente utilizada no contexto ambiental, seja na realização de análises espaciais sobre pontos, linhas, polígonos e matrizes que virtualmente representam os objetos do mundo real, como na elaboração de mapas e cartas para composição de estudos e divulgação de resultados (MINAS GERAIS, 2019).

O programa foi desenvolvido na linguagem C++, usando a biblioteca Qt para interface gráfica com o usuário, o que permite tanto a execução de complementos desenvolvidos em C++ quanto em Python (NOÉ et al., 2014).

2.7. Software de Desenhos de Projetos Autocad

Cabe salientar que durante o estudo de caso, no desenvolvimento das análises do impacto dos diferentes cenários dos loteamentos, utilizou-se amplamente o software de desenho de projetos AutoCad.

Amplamente utilizado em projetos de engenharia, o software possibilita desenhos de precisão para os projetos e facilita a edição, reprodução e compartilhamento dos projetos. Além disso, o software auxiliou imensamente no levantamento das áreas de cada cenário.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Descrição Geral da Metodologia

Embasado na revisão teórica da questão dos alagamentos urbanos, exposta no Capítulo 2, procurou-se entender na prática o problema, para levantar quais obras estruturais têm viabilidade técnica e econômica. Para tanto serão analisados quatro loteamentos a serem construídos em uma cidade no Sul de Minas Gerais. As ações não-estruturais, fogem ao escopo desta análise, dada sua complexidade de mensuração e maior tempo para implementação.

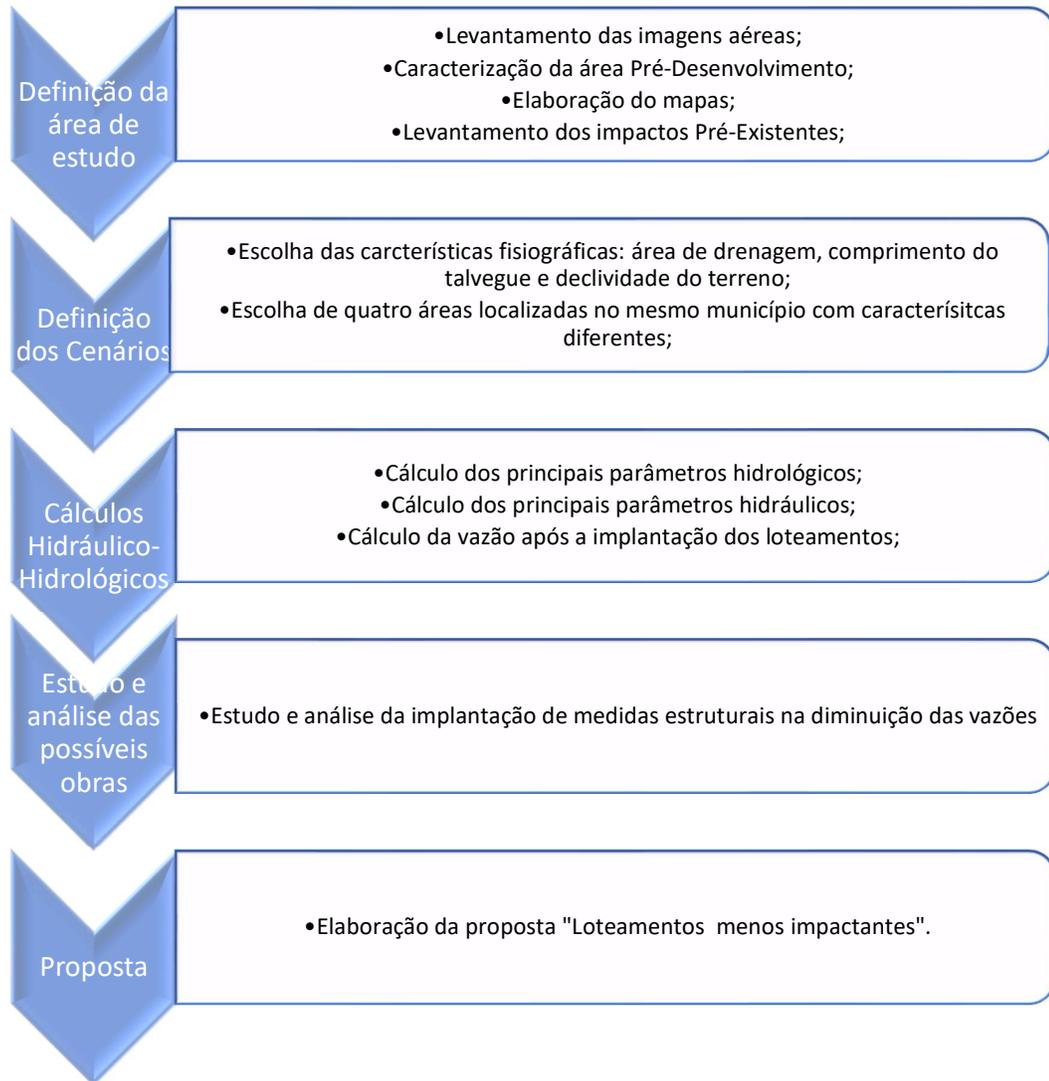
A metodologia a ser implementada na análise desta problemática baseia-se na caracterização área de estudo, utilizando as ferramentas citadas no Capítulo 2, neste caso, foram usados dados reais (topográficos, hidrológicos, hidráulicos), porém não serão identificados os locais e os proprietários.

Com os dados conhecidos, deverão ser adotados os cenários a serem analisados: pré-desenvolvimento (Cenário 1) e Cenários 2, 3 e 4, sendo que a diferença entre estes está na adoção das medidas estruturais nos loteamentos.

A partir desta caracterização dos cenários é possível analisar hidraulicamente o comportamento dos loteamentos. Assim, é possível analisar e comparar os resultados hidráulicos e os custos das diferentes propostas dos cenários.

Esta metodologia é apresentada de forma simplificada pelo digrama da Figura 3.1.

Figura 3.1 - Fluxograma das atividades



A área escolhida para as análises eram fazendas com pasto (vegetação) que estão sendo desmembradas para expansão da área urbana (asfalto e edificações). Todos os quatro loteamentos pertencem a bacia colaborante do ribeirão.

Os dados analisados provêm do modelo de elevações do Topodata, impressão INPE (INPE, 2008). Trata-se do Modelo Digital de Elevação (MDE) de todo território brasileiro. O sistema é desenvolvido com a precisão de 30m, o que o torna adequado para as análises do presente trabalho, uma vez que as dimensões dos loteamentos são bem superiores. Além disso, é uma fonte de dados facilmente disponível e confiável. As análises hidrológicas foram desenvolvidas no QGis, através do *r.watershed*.

As obras propostas para a diminuição do impacto da construção dos loteamentos visam a redução máxima da vazão gerada pelo loteamento. Normalmente, tenta-se manter o escoamento superficial que existia antes da ocupação. Assim, chega-se ao ponto ótimo de maior geração de valor econômico e social, com o mínimo impacto no corpo hídrico, consequentemente diminuindo a vazão de enchentes.

Para o desenvolvimento dos cenários serão usados os programas computacionais descritos no Capítulo 2 para o levantamento dos dados e tratamento destes (QGIS). Para o levantamento de áreas, utilizou-se o *software* AutoCad.

3.2. Estudo de Caso

Durante o desenvolvimento deste trabalho, estudou-se o impacto da implementação de quatro loteamentos em uma cidade do Sul de Minas Gerais. Os loteamentos foram implementados em regiões que antes eram pasto, alterando, portanto, o uso do solo de pasto (vegetação) para urbano (asfalto e edificações).

Para determinar a diferença de vazão provocada pela urbanização da área foi utilizado o método racional, onde foi calculada a vazão gerada em dois diferentes cenários: pré-desenvolvimento e pós-desenvolvimento.

O método racional é uma equação para o cálculo de vazão de escoamento de uma determinada área, em função da intensidade pluviométrica, da área e do coeficiente de escoamento superficial do solo (*Runoff*). Este último fator é o afetado pela alteração na utilização do solo. O método é válido para pequenas bacias com área de drenagem de até 5 km² (WILKEN,1978).

Assim sendo, utilizou-se a Eq.(1), com os parâmetros de cada cenário;

$$Q = \frac{c i A}{3,6} \quad (1)$$

Onde:

Q – Vazão (l/s)

c – Coeficiente de *Runoff* (adimensional)

i – intensidade pluviométrica (mm/h)

A – Área (m²)

O primeiro passo foi delimitar-se a área e os fatores topográficos de cada loteamento. Para tal, utilizou-se um software de Sistemas de Informações Geográficas - QGIS, apresentado no Capítulo 2. A topografia local foi obtida através de um *plug-in* do QGIS denominado INPE

Topodata, e o mesmo *software* definiu o Comprimento do Talvegue, Declividade Média e Área Ocupada. Outro *plug-in* denominado *Grass Watershed* foi utilizado para delimitar a área das bacias hidrográficas.

Na Tabela 3.1, a seguir, os parâmetros dos loteamentos são sintetizados.

Tabela 3.1 - Parâmetros dos Loteamentos

PARÂMETROS DOS LOTEAMENTOS				
Parâmetro	Loteamento A	Loteamento B	Loteamento C	Loteamento D
Área da Bacia (A)	4,53 ha	10,34 ha	6,26 ha	4,91 ha
Comp. Talvegue (L)	1,338 km	0,489 km	0,352 km	0,311 km
Declividade Média (S)	2,3%	2,7%	1,7%	1,9%

O mapa do município, onde foram marcados os loteamentos está exposto na Figura 3.2, a seguir.

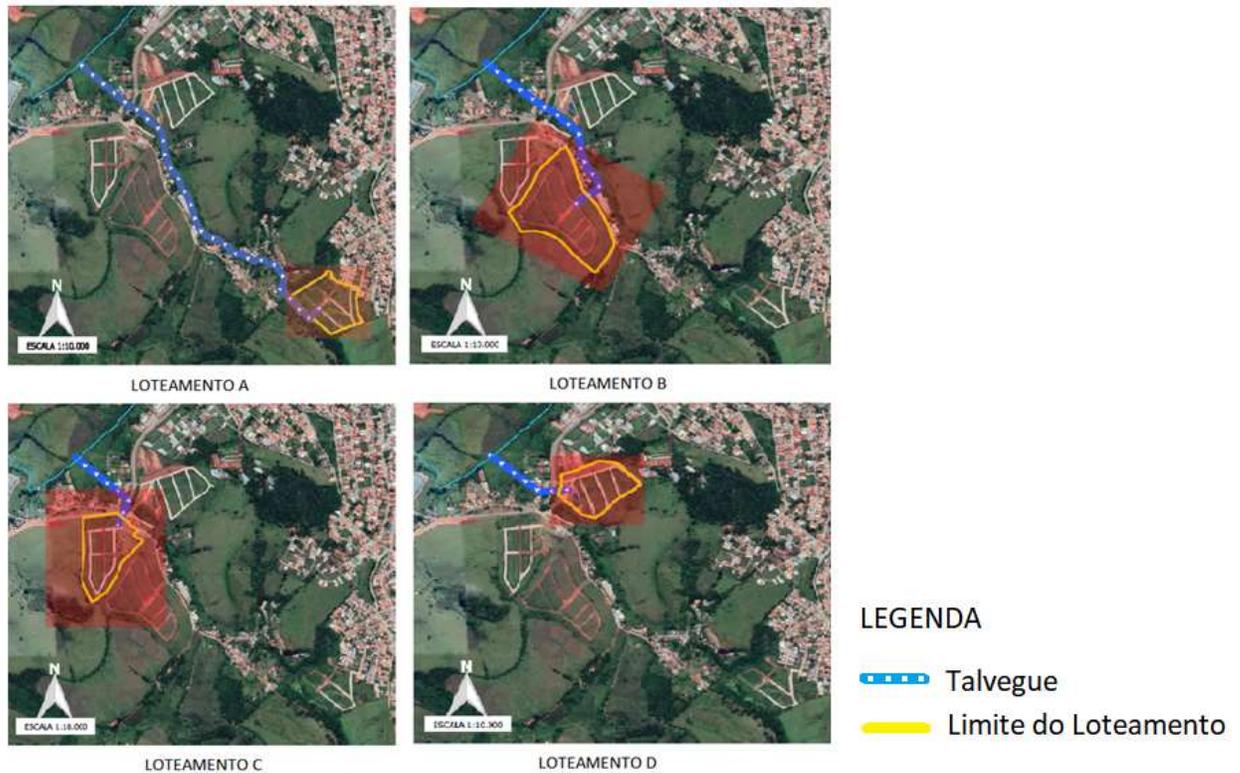
Figura 3.2- Mapa dos Loteamentos



FONTE: Imagem do Google Earth adaptada pelo autor

Para cada loteamento os parâmetros descritos na Tabela 3.1 são expostos na Figura 3.3, a seguir.

Figura 3.3- Telas do Levantamento dos Parâmetros Hidrológicos dos Loteamentos



FONTE: Imagem do Google Earth adaptada pelo autor

O segundo passo foi, a partir da imagem aérea do local, elaborar o mapa de uso e ocupação do solo para cada loteamento, nos cenários anterior e posterior a urbanização, permitindo, para cada um, o cálculo do Coeficiente de *Runoff*.

Conforme o estudo foi sendo desenvolvido, os cenários foram definidos. O primeiro cenário definido foi o de pré-urbanização para ter-se parâmetros de comparação do aumento da vazão superficial gerado pela troca do uso do solo. O segundo cenário foi definido pensando na urbanização se dar sem implementação de nenhuma medida estrutural. Todos os pavimentos serão impermeáveis e apenas o limite de 10% de área verde imposto pela municipalidade é respeitado. O terceiro cenário reflete a implementação de medidas estruturais – pavimentos porosos nas calçadas. O quarto cenário, foi proposto para analisar-se o impacto de manter-se dentro dos lotes a taxa mínima de 5% da área permeável, frente ao terceiro cenário.

Os cenários analisados estão descritos a seguir resumidamente no Quadro 3.1 e expostos com mais detalhe nas figuras a seguir:

Quadro 3.1- Cenários Propostos

Cenário	Descrição
Cenário I	Pré-urbanização; toda área coberta de vegetação (pasto)
Cenário II	Pós-urbanização; nenhuma medida estrutural adotada; Apenas 10% da área do loteamento é infiltrável de acordo com a legislação vigente;
Cenário III	Pós-urbanização; Adoção de pavimentos permeáveis na área de equipamentos comunitários e 10% da área do loteamento deve ser área verde; Área dos lotes sem limites de construção;
Cenário IV	Pós-urbanização; Adoção de pavimentos permeáveis na área na área de equipamentos comunitários e 10% da área do loteamento deve ser área verde; 5% da área dos lotes deve ser livre para infiltração das águas pluviais;

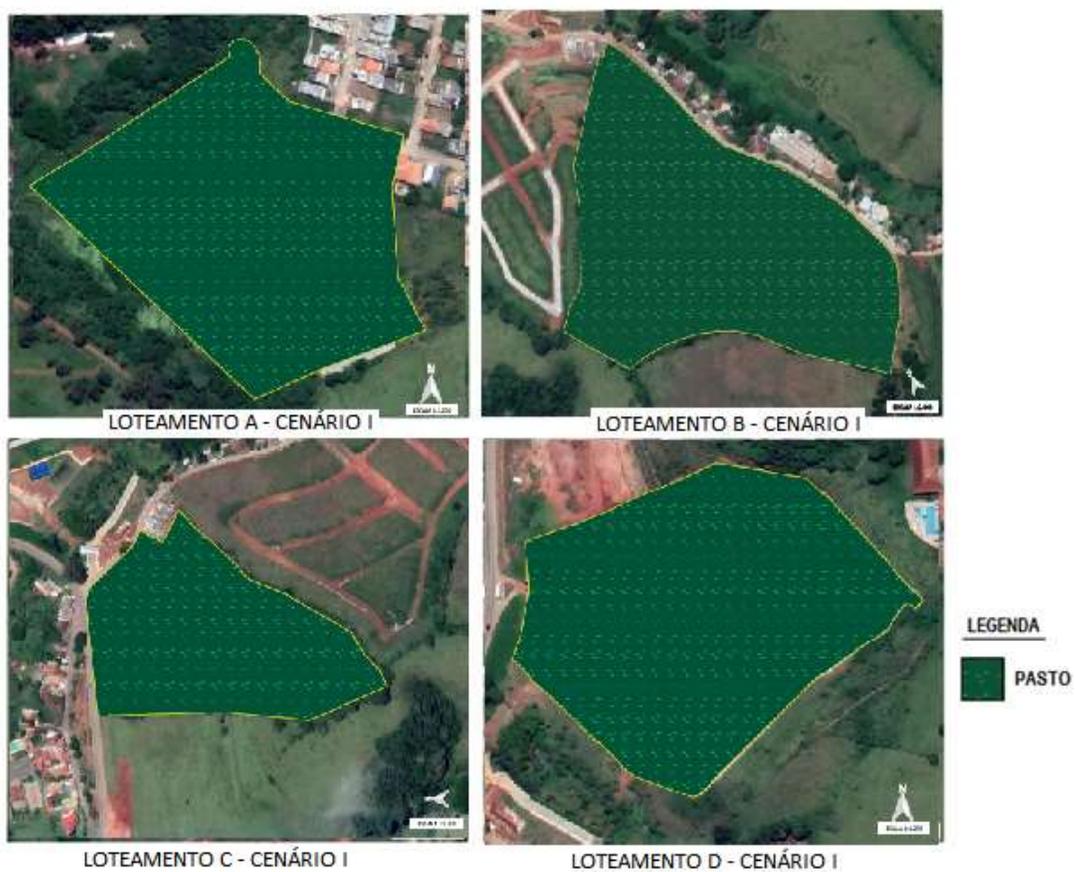
Cenário I: O cenário pré-urbanização foi denominado Cenário I. Toda a área dos futuros loteamentos é pasto. A visão aérea dos quatro loteamentos para este cenário está na Figura 3.4.

Cenário II: Para o primeiro cenário pós-urbanização, considerou-se que nenhuma medida estrutural para mitigação do pico de vazão colaborante seria adotada e nenhuma restrição dentro da área dos lotes é imposta pela municipalidade. Apenas manteve-se a restrição imposta pela legislação vigente onde 10% da área do loteamento deve ser área verde, permeável. Assim, temos o pior cenário, onde os proprietários podem construir em toda a área de lotes, e limitando a área de infiltração ao mínimo. A visão aérea dos quatro loteamentos para este cenário está na Figura 3.5.

Cenário III: Neste cenário, adotou-se a premissa onde a prefeitura impõe que seja mantida nos loteamentos uma área verde correspondente a 10% da área total do loteamento e a área de equipamentos comunitários passa a ser de pavimentos permeáveis. Nenhuma restrição ao uso do solo dentro dos lotes é considerada. A visão aérea dos quatro loteamentos para este cenário está na Figura 3.6.

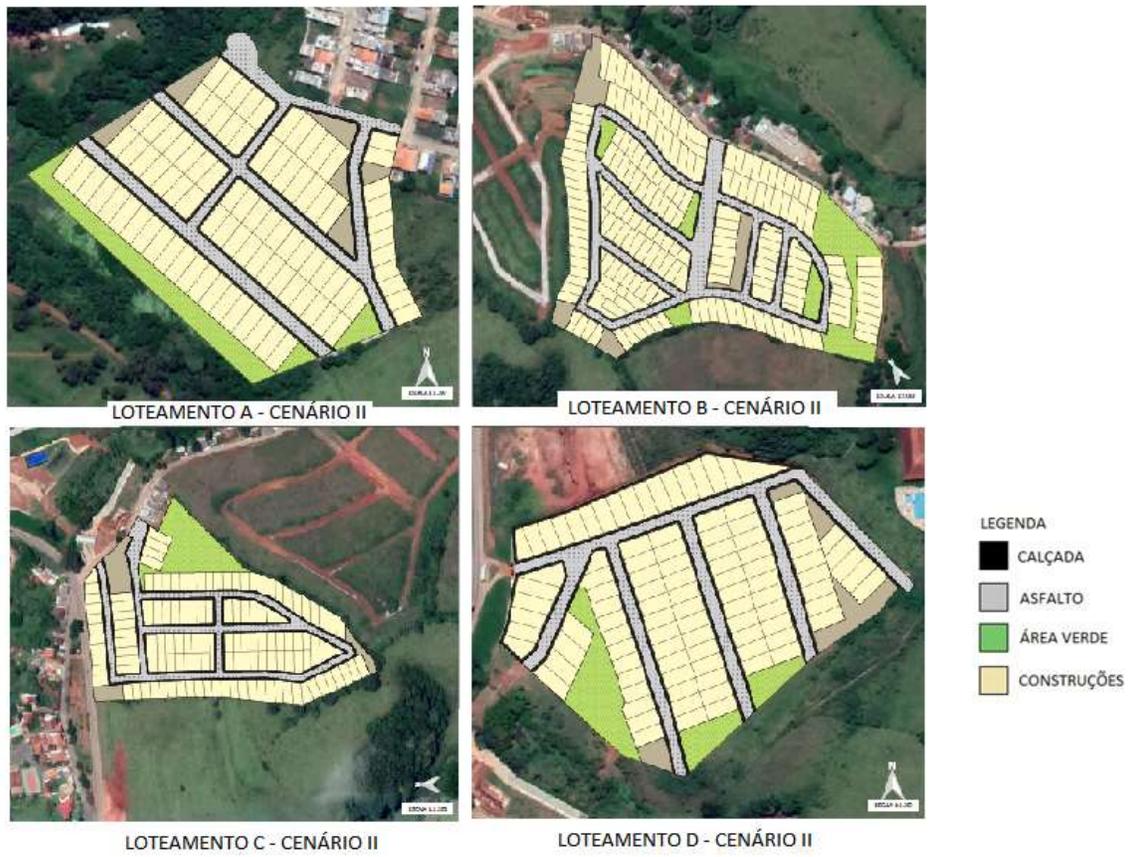
Cenário IV: Neste cenário, além das premissas do Cenário III, limita-se a taxa de construção dos lotes, garantindo-se que nos lotes 5% da área dos mesmos seja livre para a permeabilização direta da água da chuva no solo. Esta é uma medida de baixo impacto econômico para a prefeitura e para os proprietários, além de ser amplamente adotada em vários municípios. Procurou-se verificar o impacto desta medida no nosso estudo de caso. A visão aérea dos quatro loteamentos para este cenário está na Figura 3.7 a seguir;

Figura 3.4- Área dos Loteamentos – pré-urbanização – Cenário I



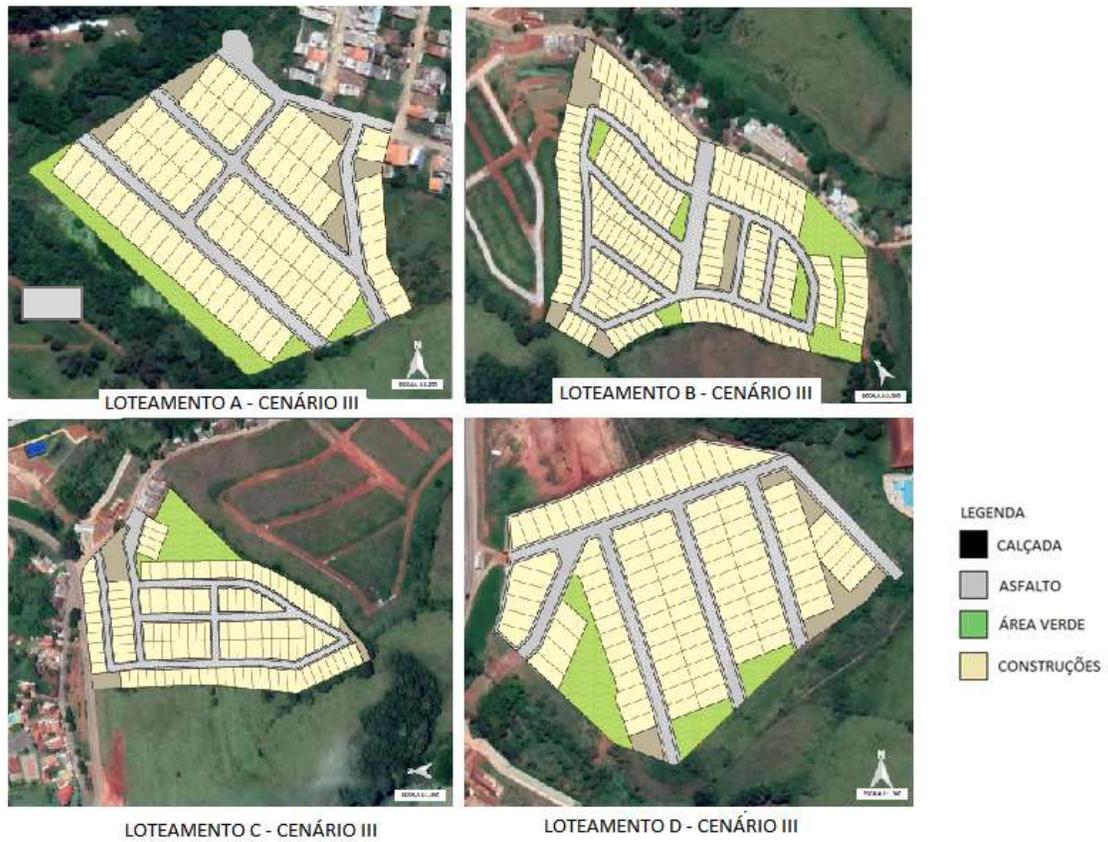
FONTE: Compilação da Autora das Imagens do Software QGIS

Figura 3.5- Área dos Loteamentos – após a urbanização – Cenário II



FONTE: Compilação da Autora das Imagens do Software QGIS

Figura 3.6- Área dos Loteamentos – após a urbanização – Cenário III



FONTE: Compilação da Autora das Imagens do Software QGIS

Figura 3.7- Área dos Loteamentos – após a urbanização – Cenário IV



FONTE: Compilação da Autora das Imagens do Software QGIS

3.3. Cálculos Hidráulico-Hidrológicos

A Tabela 3.2, a seguir, mostra os resultados dos coeficientes de *Runoff* para os loteamentos, de acordo com o cenário.

Tabela 3.2 - Coeficiente de *Runoff*.

Cenário	Composição	Coeficiente de <i>Runoff</i>	
LOTEAMENTO A			
Cenário I	Vegetação - Terreno relvado, declividade média (C=0,20)	4,53 ha	0,2000
	Área residencial - Residências Isoladas (C=0,50)	2,94 ha	
	Pavimento Asfáltico (C=0,90)	0,76 ha	
Cenário II	Calçada (C=0,90)	0,15 ha	0,544
	Equipamento Comunitário em Pavimento Asfáltico (C=0,90)	0,23 ha	
	Área Verde (C=0,10)	0,45 ha	
LOTEAMENTO B			
Cenário I	Vegetação - Terreno relvado, declividade média (C=0,20)	10,34 ha	0,200
	Área residencial - Residências Isoladas (C=0,50)	6,72 ha	
	Pavimento Asfáltico (C=0,90)	1,76 ha	
Cenário II	Calçada (C=0,90)	0,31 ha	0,545
	Equipamento Comunitário em Pavimento Asfáltico (C=0,90)	0,52 ha	
	Área Verde (C=0,10)	1,03 ha	
LOTEAMENTO C			
Cenário I	Vegetação - Terreno relvado, declividade média (C=0,20)	6,26 ha	0,200
	Área residencial - Residências Isoladas (C=0,50)	4,07 ha	
	Pavimento Asfáltico (C=0,90)	1,08 ha	
Cenário II	Calçada (C=0,90)	0,17 ha	0,546
	Equipamento Comunitário em Pavimento Asfáltico (C=0,90)	0,31 ha	
	Área Verde (C=0,10)	0,63 ha	
LOTEAMENTO D			
Cenário I	Vegetação - Terreno relvado, declividade média (C=0,20)	4,91 ha	0,200
	Área residencial - Residências Isoladas (C=0,50)	3,19 ha	
	Pavimento Asfáltico (C=0,90)	0,80 ha	
Cenário II	Calçada (C=0,90)	0,18 ha	0,542
	Equipamento Comunitário em Pavimento Asfáltico (C=0,90)	0,25 ha	
	Área Verde (C=0,10)	0,49 ha	

Fonte: Valores do *Coeficiente de Runoff* retirados de Tucci (1995).

O último parâmetro da Equação Racional (1) a ser calculado foi a intensidade pluviométrica. Para tal, utilizou-se a equação de chuva intensa (2) para o município de estudo disponibilizada por Freitas et al. (2001).

$$i = \frac{1125,279 \times T_r^{0,175}}{(t_c + 7,1)^{0,845}} \quad (2)$$

Onde,

i – intensidade pluviométrica (mm/h)

T_r – Tempo de recorrência (anos)

t_c – Tempo de concentração (min)

Utilizou-se como referência a chuva de recorrência de 10 anos, por ser mais adequada para o dimensionamento de pavimentos porosos. Assim, calculou-se o tempo de concentração através da equação de Kirpich, tem-se, respectivamente, para cada loteamento:

Loteamento A:

$$t_c = \frac{0,01947 \times (1338)^{0,77}}{(0,023)^{0,385}} = 21,20$$

Loteamento B:

$$t_c = \frac{0,01947 \times (489)^{0,77}}{(0,026)^{0,385}} = 9,26$$

Loteamento C:

$$t_c = \frac{0,01947 \times (352)^{0,77}}{(0,017)^{0,385}} = 8,53$$

Loteamento D:

$$t_c = \frac{0,01947 \times (311)^{0,77}}{(0,019)^{0,385}} = 7,39$$

Onde:

$$t_c = \frac{0,01947 \times (L)^{0,77}}{(S)^{0,385}}$$

t_c - Tempo de concentração (min)

L - Comprimento do talvegue principal (m)

S- Declividade média do talvegue principal

Retornando o valor do tempo de concentração na equação de chuva (2) do município de estudo, obteve-se a intensidade pluviométrica para cada loteamento.

Posteriormente, utilizando a equação do método racional (1), foi determinada a vazão para cada cenário e loteamento. Os resultados são apresentados no próximo capítulo.

4. RESULTADOS DA ADOÇÃO DE MEDIDAS ESTRUTURAIS

4.1 – Resultados Medidas Estruturais Propostas

Neste capítulo verifica-se o resultado das medidas estruturais de fácil adoção para a urbanização dos loteamentos descritas na metodologia – Capítulo 03. Verifica-se a viabilidade técnica e econômica das medidas propostas.

A primeira medida estrutural proposta é substituir-se o pavimento das áreas comunitárias de pavimento asfáltico impermeável para pavimento poroso. O modelo de pavimento poroso adotado está detalhado no Anexo 1 do presente trabalho. Assim, aumenta-se a permeabilidade do solo de uma área considerável de cada loteamento, alterando o seu coeficiente de *Runoff* e consequentemente a vazão colaborante no curso d'água.

4.2 – Vazões Para Diferentes Cenários

Na Tabela 4.1, a seguir, tem-se a comparação das áreas para a determinação das vazões nos cenários de urbanização sem o pavimento poroso (Cenário II) e com o pavimento poroso (Cenário III e Cenário IV);

Tabela 4.1 - Comparação entre os Coeficientes de *Runoff*

Cenário	Composição	Coeficiente de <i>Runoff</i>
LOTEAMENTO A		
Cenário II	Área residencial - Residências Isoladas (C=0,50)	2,94 ha
	Pavimento Asfáltico (C=0,90)	0,76 ha
	Calçada (C=0,90)	0,15 ha
	Equipamento Comunitário em Pavimento Asfáltico (C=0,90)	0,23 ha
	Área Verde (C=0,10)	0,45 ha
		0,544
Cenário III	Área residencial - Residências Isoladas (C=0,50)	2,94 ha
	Pavimento Asfáltico (C=0,90)	0,76 ha
	Calçada (C=0,90)	0,15 ha
	Equipamento Comunitário em Pavimento Poroso (C=0,40)	0,23 ha
	Área Verde (C=0,10)	0,45 ha
		0,493
Cenário IV	Área residencial – Resid. Isoladas e 5% de Área Permeável (C=0,48)	2,94 ha
	Pavimento Asfáltico (C=0,90)	0,76 ha
	Calçada (C=0,90)	0,15 ha
	Equipamento Comunitário em Pavimento Poroso (C=0,40)	0,23 ha
	Área Verde (C=0,10)	0,45 ha
		0,481

LOTEAMENTO B		
Cenário II	Área residencial - Residências Isoladas (C=0,50) 6,72 ha Pavimento Asfáltico (C=0,90) 1,76 ha Calçada (C=0,90) 0,31 ha Equipamento Comunitário em Pavimento Asfáltico (C=0,90) 0,52 ha Área Verde (C=0,10) 1,03 ha	0,545
Cenário III	Área residencial - Residências Isoladas (C=0,50) 6,72 ha Pavimento Asfáltico (C=0,90) 1,76 ha Calçada (C=0,90) 0,31 ha Equipamento Comunitário em Pavimento Poroso (C=0,40) 0,52 ha Área Verde (C=0,10) 1,03 ha	0,494
Cenário IV	Área residencial – Resid. Isoladas – 5% de Área Perm. (C=0,48) 6,72 ha Pavimento Asfáltico (C=0,90) 1,76 ha Calçada (C=0,90) 0,31 ha Equipamento Comunitário em Pavimento Poroso (C=0,40) 0,52 ha Área Verde (C=0,10) 1,03 ha	0,481
LOTEAMENTO C		
Cenário II	Área residencial - Residências Isoladas (C=0,50) 4,07 ha Pavimento Asfáltico (C=0,90) 1,08 ha Calçada (C=0,90) 0,17 ha Equipamento Comunitário em Pavimento Asfáltico (C=0,90) 0,31 ha Área Verde (C=0,10) 0,63 ha	0,546
Cenário III	Área residencial - Residências Isoladas (C=0,50) 4,07 ha Pavimento Asfáltico (C=0,90) 1,08 ha Calçada (C=0,90) 0,17 ha Equipamento Comunitário em Pavimento Permeável (C=0,40) 0,31 ha Área Verde (C=0,10) 0,63 ha	0,495
Cenário IV	Área residencial - Residências Isoladas – 5% de Área Perm. (C=0,48) 4,07 ha Pavimento Asfáltico (C=0,90) 1,08 ha Calçada (C=0,90) 0,17 ha Equipamento Comunitário em Pavimento Permeável (C=0,40) 0,31 ha Área Verde (C=0,10) 0,63 ha	0,483
LOTEAMENTO D		
Cenário II	Área residencial - Residências Isoladas (C=0,50) 3,19 ha Pavimento Asfáltico (C=0,90) 0,80 ha Calçada (C=0,90) 0,18 ha Equipamento Comunitário em Pavimento Asfáltico (C=0,90) 0,25 ha Área Verde (C=0,10) 0,49 ha	0,542
Cenário III	Área residencial - Residências Isoladas (C=0,50) 3,19 ha Pavimento Asfáltico (C=0,90) 0,80 ha Calçada (C=0,90) 0,18 ha Equipamento Comunitário em Pavimento Permeável (C=0,40) 0,25 ha Área Verde (C=0,10) 0,49 ha	0,492
Cenário IV	Área residencial – Resid. Isoladas – 5% de Área Permeável (C=0,48) 3,19 ha Pavimento Asfáltico (C=0,90) 0,80 ha Calçada (C=0,90) 0,18 ha Equipamento Comunitário em Pavimento Permeável (C=0,40) 0,25 ha Área Verde (C=0,10) 0,49 ha	0,479

Fonte: Valores do *Coefficiente de Runoff* retirados de Tucci (1995).

Analogamente ao que se fez no Capítulo 3, o último parâmetro da Equação Racional (1) a ser calculado foi a intensidade pluviométrica. Para tal, utilizou-se a equação de chuva intensa (2) para o município de estudo disponibilizada por Freitas et al. (2001).

$$i = \frac{1125,279 \times T_r^{0,175}}{(t_c + 7,1)^{0,845}} \quad (2)$$

Onde,

i – intensidade pluviométrica (mm/h)

T_r – Tempo de recorrência (anos)

t_c – Tempo de concentração (min)

Utilizando-se como referência a chuva de recorrência de 10 anos e calculando o tempo de concentração através da equação de Kirpich, tem-se, respectivamente, para cada loteamento:

Loteamento A:

$$t_c = \frac{0,01947 \times (1338)^{0,77}}{(0,023)^{0,385}} = 21,20$$

Loteamento B:

$$t_c = \frac{0,01947 \times (489)^{0,77}}{(0,026)^{0,385}} = 9,26$$

Loteamento C:

$$t_c = \frac{0,01947 \times (352)^{0,77}}{(0,017)^{0,385}} = 8,53$$

Loteamento D:

$$t_c = \frac{0,01947 \times (311)^{0,77}}{(0,019)^{0,385}} = 7,39$$

Onde:

$$t_c = \frac{0,01947 \times (L)^{0,77}}{(S)^{0,385}}$$

t_c – Tempo de concentração (min)

L – Comprimento do talvegue principal (m)

S – Declividade média do talvegue principal

Retornando o valor do tempo de concentração na equação de chuva (2) para o município de estudo, obteve-se a intensidade pluviométrica para cada loteamento nos Cenários II, III e IV.

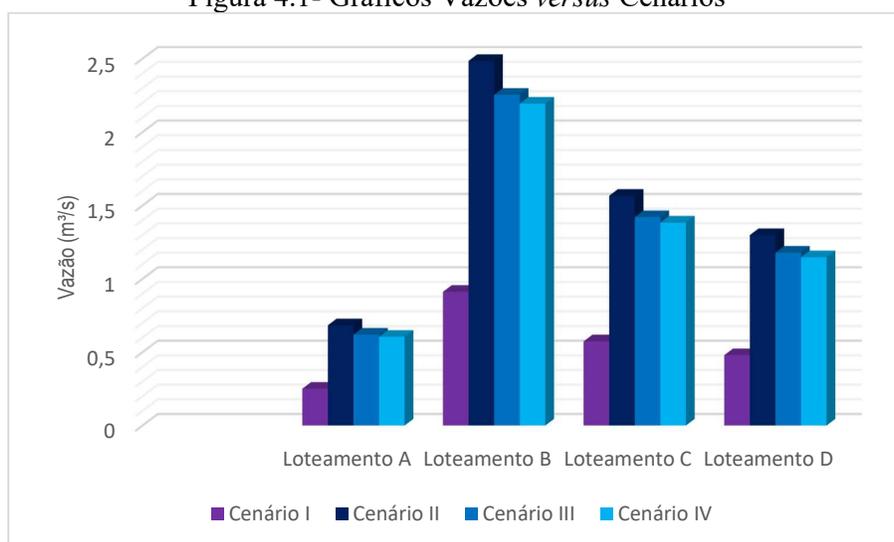
Posteriormente, utilizando a equação do método racional (1), foi determinada a vazão para cada cenário. Os resultados são apresentados na Tabela 4.2 a seguir.

Tabela 4.2 - Intensidade de Chuva e Vazões

Loteamento	Intensidade mm/h	Vazão – Cenário I m ³ /s	Vazão – Cenário II m ³ /s	Vazão – Cenário III m ³ /s	Vazão – Cenário IV m ³ /s
Loteamento A	99,90	0,251	0,684	0,620	0,605
Loteamento B	158,71	0,912	2,485	2,254	2,194
Loteamento C	164,94	0,574	1,567	1,421	1,384
Loteamento D	175,81	0,480	1,299	1,179	1,148

O gráfico comparativo das vazões para cada cenário está exposto na Figura 4.1 a seguir;

Figura 4.1- Gráficos Vazões versus Cenários



Cabe salientar que caso a urbanização ocorra sem medidas mitigadoras, a vazão colaborante das áreas de estudo quase que triplica em números absolutos, apresentando aumento relativo próximo a 170%. Conforme esperado, a urbanização sem controle gera impactos significativos no curso d'água.

Na Tabela 4.3, a seguir, tem-se o comparativo entre as vazões de pré-urbanização versus o pior cenário pós-urbanização (Cenário II).

Tabela 4.3 – Comparativo Vazões – Pré-Urbanização versus Pior Cenário – Cenário II

Loteamento	Intensidade mm/h	Vazão (m ³ /s) Cenário I ¹	Vazão (m ³ /s) Cenário II ²	Aumento Vazão (m ³ /s)	Aumento Vazão %
Loteamento A	99,9	0,251	0,684	0,432	172%

¹ Pré-urbanização

² Pós-urbanização

Loteamento B	158,71	0,912	2,485	1,573	173%
Loteamento C	164,94	0,574	1,567	0,993	173%
Loteamento D	175,81	0,480	1,299	0,819	171%

Outra observação de significativa relevância é que se adotando as medidas estruturais propostas, a vazão colaborante pós-urbanização diminui 12% quando comparada ao pior cenário possível, diminuindo-se os impactos da urbanização no curso d'água. Os resultados se mostram mais relevantes ao salientarmos que adotamos o pavimento poroso em uma área bem pequena do loteamento. Os equipamentos comunitários ocupam apenas 5% da área do loteamento.

Tabela 4.4 – Comparativo de Vazões – Pior Cenário *versus* Melhor Cenário

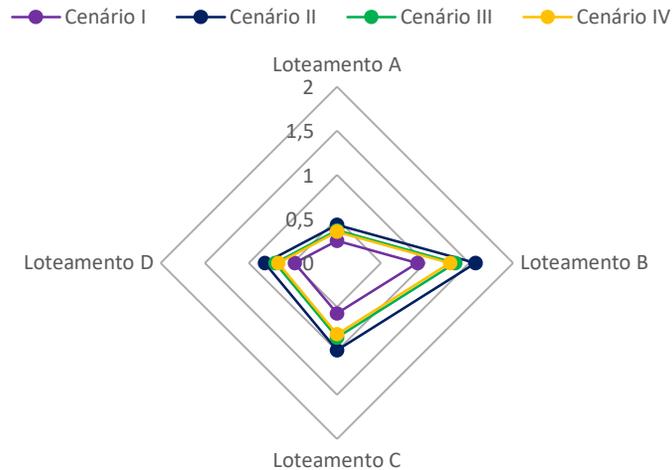
Loteamento	Intensidade mm/h	Vazão – Cenário II m³/s	Vazão – Cenário IV m³/s	Diminuição da Vazão m³/s	Diminuição da Vazão %
Loteamento A	99,9	0,684	0,605	0,079	12%
Loteamento B	158,71	2,485	2,194	0,291	12%
Loteamento C	164,94	1,567	1,384	0,182	12%
Loteamento D	175,81	1,299	1,148	0,151	12%

Por fim, observa-se que a imposição de 5% da área dos lotes ser livre para a infiltração diminui em média 2% da vazão gerada pós-urbanização. Os dados estão descritos na Tabela 4.5. Embora o percentual seja pequeno, representa diminuição significativa dos impactos da urbanização no curso d'água, a custo zero para a municipalidade. A Figura 4.2 apresenta o aumento da vazão para os vários cenários.

Tabela 4.5 – Comparativo de Vazões –Cenário III *versus* Cenário IV

Loteamento	Intensidade mm/h	Vazão – Cenário III m³/s	Vazão – Cenário IV m³/s	Diminuição da Vazão m³/s	Diminuição da Vazão %
Loteamento A	99,9	0,620	0,605	0,015	2%
Loteamento B	158,71	2,254	2,194	0,060	3%
Loteamento C	164,94	1,421	1,384	0,037	3%
Loteamento D	175,81	1,179	1,148	0,031	3%

Figura 4.2– Aumento da vazão após a implantação dos loteamentos



No Anexo 4, temos as mesmas análises para diferentes tempos de recorrência; analisou-se o impacto das medidas estruturais para as chuvas de recorrência de 25, 50 e 100 anos. Observou-se que independente do tempo de recorrência, a adoção de pavimentos porosos nas áreas comunitárias tem redução no pico de vazão idêntica ao observado para o tempo de recorrência de 10 anos.

No próximo item verificou-se a viabilidade econômica das medidas;

4.3 – Análise da Viabilidade Econômica

Para verificar-se a viabilidade econômica, é necessário em primeiro lugar definir as áreas de pavimento impermeável e de pavimento poroso nas áreas de equipamentos comunitários adotados nos cenários.

Após esta definição, procurou-se levantar os custos de mercado para os dois tipos de pavimentação, permeável e impermeável. No presente trabalho, os custos dos diferentes tipos de pavimentos foram adotados utilizando-se o guia SINAPI, da Caixa Econômica Federal, dada a facilidade de acesso e confiabilidade das informações.

Para os custos do pavimento permeável, adotou-se no guia SINAPI o tipo C para pavimentos intertravados bloco intertravado tipo pisograma.

Para os custos do pavimento impermeável, escolheu-se no guia SINAPI para passeios de concreto.

O cálculo detalhado dos custos está descrito no Anexo 2 do presente trabalho.

A seguir, na Tabela 4.6, avaliam-se os custos levantados para os cenários II e III;

Tabela 4.6 – Comparativo de Custos –Cenário II *versus* Cenário III

Loteamento	Cenário	Área	Área	Custo	Custo	Custo Total – R\$
		Pavimento Impermeável – ha	Pavimento Poroso – há	Pavimento Imperm. – R\$/ha	Pavimento Poroso - R\$/ha	
Loteamento A	II	0,23	-	497.551,56	-	114.436,86
	III	-	0,23	-	533.985,55	122.816,68
Loteamento B	II	0,52	-	497.551,56	-	258.726,81
	III	-	0,52	-	533.985,55	277.672,49
Loteamento C	II	0,31	-	497.551,56	-	154.240,98
	III	-	0,31	-	533.985,55	165.535,52
Loteamento D	II	0,25	-	497.551,56	-	124.387,89
	III	-	0,25	-	533.985,55	133.496,39

Cabe ressaltar que os cenários III e IV possuem a mesma área de pavimento poroso. Portanto, a análise econômica dos dois cenários é redundante.

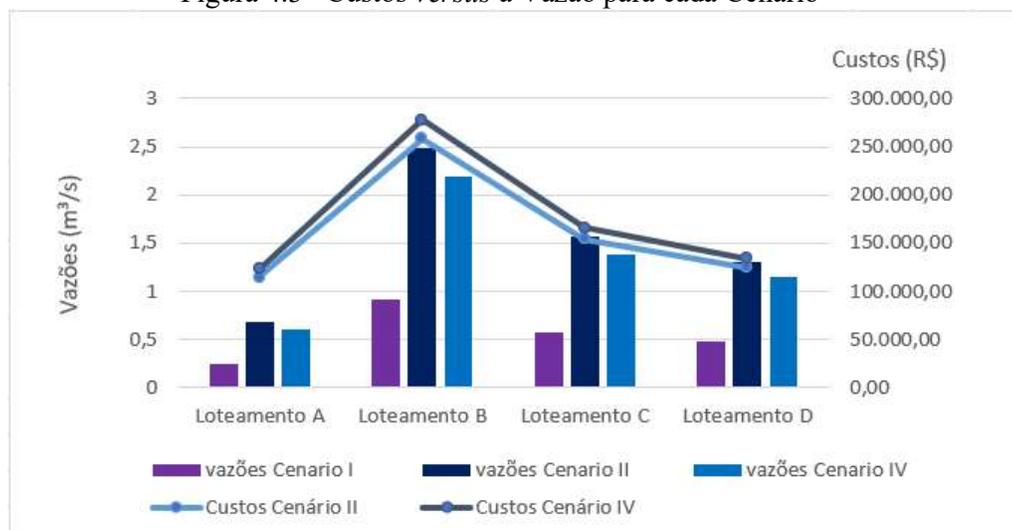
Após o levantamento dos custos dos diferentes cenários, se faz necessário avaliar a relação custo *versus* benefício. Para melhor compreensão, os dados estão expostos na Tabela 4.7, a seguir.

Tabela 4.7 - Custos envolvendo o melhor e pior o Cenários

Loteamento	Custo Cenário II	Custo Cenário IV	Aumento de Custos	Aumento de Custos %	Diminuição Vazão %
Loteamento A	114.436,86	122.816,68	8.379,82	7,3%	12%
Loteamento B	258.726,81	277.672,49	18.945,67	7,3%	12%
Loteamento C	154.240,98	165.535,52	11.294,54	7,3%	12%
Loteamento D	124.387,89	133.496,39	9.108,50	7,3%	12%

Na Figura 4.3, a seguir, pode-se observar os custos *versus* a Vazão para cada Cenário

Figura 4.3– Custos *versus* a Vazão para cada Cenário



Verifica-se que os custos da implantação das medidas estruturais são 7,3% maiores que os custos do cenário onde a superfície é impermeável. Entretanto, o ganho percentual da diminuição das vazões é igual a 12%, justificando a adoção do pavimento permeável nas áreas de equipamento comunitário.

5. CONCLUSÕES

Procurou-se determinar o aumento do escoamento superficial na implantação de novos loteamentos, a partir da proposição de diferentes cenários. Foram quatro cenários propostos: (i) pre-urbanização, (ii) loteamentos com 10% da área verde, (iii) loteamentos com 10% da área verde e 5% da área do loteamento ocupado com equipamento comunitário em pavimento permeável, (iv) loteamentos com 10% da área verde, 5% da área dos loteamentos ocupado pelo equipamento comunitário com pavimento permeável e cada lote com 5% de área permeável. Para os quatro cenários foram verificadas quatro áreas com diferentes características: área, declividade, pertencentes a uma mesma região.

O Cenário I analisou o contexto pré-urbanização e os demais cenários consideraram o pós-urbanização. Foi utilizado o plano diretor onde a municipalidade exige que 10% da área de novos loteamentos seja de preservação ambiental. Para os Cenários III e IV foram agregadas propostas com medidas estruturais de baixo custo.

Verificou-se que após a urbanização no Cenário II, as vazões colaborantes apresentam aumento relativo próximo a 170% quando comparadas ao Cenário I. Conforme esperado, a urbanização sem medidas mitigadoras gera impactos significativos no meio. Assim sendo, é necessário propor medidas mitigadoras para amenizar os impactos pós implantação de loteamentos.

Procurou-se sugerir medidas dentro do limite territorial dos loteamentos e de fácil implementação. Foram descartadas medidas estruturais para controle do escoamento superficial direto que acarretam extrapolação do limite territorial dos loteamentos, pois implicam em maiores custos e consequentemente maior dificuldade de implementação.

As soluções propostas para a diminuição do impacto da construção dos loteamentos visam a redução da vazão gerada pela mudança do uso do solo com o menor custo de implantação.

A primeira medida estrutural proposta é a substituição do pavimento das áreas de equipamentos comunitários, antes de concreto impermeável para pavimento poroso.

Diminuindo o escoamento superficial de uma área considerável de cada loteamento, altera-se o seu coeficiente de *Runoff* e conseqüentemente a vazão colaborante no curso d'água.

Adicionalmente, no Cenário IV, limita-se a taxa de construção dos lotes, garantindo-se que nos lotes 5% da área dos mesmos seja livre para a permeabilização direta da água da chuva no solo. Esta é uma medida de baixo impacto econômico para a prefeitura e para os proprietários, além de ser amplamente adotada em vários municípios.

Os custos para implantação do cenário III aumentam 7% e são iguais aos custos do Cenário IV, porém a redução da vazão deste último comparado ao Cenário II é de 12%. Isto é possível pois depende de ação na gestão de uso e ocupação do solo, que pode ser definida pelo Plano Diretor de cada município.

Quanto a restrição de 5% da área dos lotes ser livre para a infiltração resulta em uma diminuição da vazão gerada pós-urbanização em média igual a 3%. Embora o percentual seja pequeno, representa diminuição significativa dos impactos da urbanização no curso d'água, a custo zero para a municipalidade.

Além disso, conclui-se que as soluções propostas são viáveis economicamente, pois o aumento de gasto na implementação é relativamente pequeno quando comparado à diminuição do pico de vazão no curso d'água.

Sugere-se como próximos passos deste estudo, uma avaliação econômica mais profunda. Além da variação das vazões colaborantes, é interessante desenvolver-se uma análise econômica bem mais complexa, onde o lucro da venda dos lotes, impostos gerados à municipalidade e estimativas de perdas frente a uma eventual enchente centenária sejam considerados.

Outra sugestão seria a avaliação da viabilidade técnica-econômica da construção de reservatórios de retenção temporária sob estas áreas comunitárias. Neste cenário, a área em questão poderia ser utilizada como estacionamento ou de lazer para os moradores do novo bairro.

REFERÊNCIAS

ALI, A. B. M. D. FLOOD INUNDATION MODELING AND HAZARD MAPPING UNDER UNCERTAINTY IN THE SUNGAI JOHOR BASIN, MALAYSIA. **Dissertation**. Submitted in fulfilment of the requirement of the Board for Doctorates of Delft University of Technology and of the Academic Board of the UNESCO-IHE Institute for Water Education, 2018.

ALMEIDA, D. S. A drenagem urbana das águas pluviais e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública no município de Santana. **Trabalho de conclusão de curso (graduação)** – Fundação Universidade Federal do Amapá, Pró-Reitoria de Ensino de Graduação, Curso de Bacharelado em Ciências Ambientais. Macapá, 2014.

ALVES, J. S. Software GIS Livre e o Ensino-Aprendizagem da Geografia. 2011. 50 f. **Monografia** (Licenciatura Plena em Geografia) – Universidade Estadual da Paraíba. Guarabira, 2011.

AMARAL, R.; SANTORO, J.; TOMINAGA, L. K. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

BARBOSA, F. A. R. Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do rio Mamanguape/PB. 2006. 115 f. **Dissertação** (Mestrado em Urbanismo) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

BRAGA, R.; CARVALHO, P. F. C. **Recursos hídricos e planejamento urbano e regional Laboratório de Planejamento Municipal-IGCE-UNESP**. p. 113-127. Rio Claro, 2003.

CADORIN, D. A.; MELLO, N. A. EFEITOS DA IMPERMEABILIZAÇÃO DOS SOLOS SOBRE A ARBORIZAÇÃO NO MUNICÍPIO DE PATO BRANCO-PR. **Synergismusseyentifica UTFPR**, Pato Branco, n. 6, 2011.

BRASIL, Lei Federal n.º 6.766 de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras Providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6766.htm#:~:text=LEI%20No%206.766%2C%20DE%2019%20DE%20DEZEMBRO%20DE%201979&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20o%20Parcelamento%20do,Art.> Acesso em 10 ago 2020.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e controle de enchentes**. 2. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014. Disponível em: <<https://books.google.com.br/books?hl=pt-PT&lr=&id=BPAAtCQAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP25&dq=Drenagem+Urbana&ots=9VqmImW644&sig=zXKHEpH4CsLKOgh9oh3bbjQUciQ#v=onepage&q=Drenagem%20Urbana&f=false>> Acesso em 26 de maio de 2019.

CARNEIRO, P. R F; MIGUEZ, M. G. **Controle de inundações em bacias hidrográficas metropolitanas**, São Paulo, Annablume, 2011.

CASTILHO, A. S.; PINTO, E. J. DE A.; OLIVEIRA, G. S. R. Utilização de modelo hidráulico associado a um SIG para a definição de áreas inundáveis na cidade de Governador Valadares, Minas Gerais. **XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH: João Pessoa, 2005.

COSTA, H. **Enchentes no Estado do Rio de Janeiro** – Uma Abordagem Geral /Helder Costa, WilfriedTeuber. Rio de Janeiro: SEMADS 2001.

DIAS FILHO, L. F. A utilização de *Open Source GIS* na mineração: prospecção regional de Pegmatitos da Faixa Seridó Paraibana”. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral. Recife, 2016.

EM-DAT: THE INTERNATIONAL DISASTER DATABASE/CENTRE FOR RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS – CRED. **Disaster profile**. Available at: http://www.emdat.be/disaster_profiles/index.html. Acesso em 10 ago 2018.

ENOMOTO, C. F. Estudo de medidas não-estruturais para controle de inundações urbanas. **Publicatio UEPG**: Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR. v. 6, n. 1, p. 69-90, 2000.

FREITAS, A.J.; SILVA, D.D.; PRUSKI, F.F.; PINTO, F.A.; PEREIRA, S.B.; GOMES FILHO, R.R.; TEIXEIRA, A.F.; BAENA, L.G.N.; MELLO, L.T.A.; NOVAES, L.F. **Equações de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, Companhia de Saneamento de Minas Gerais/Universidade Federal de Viçosa, 2001. 65p.

FREITAS, C. M.; XIMENES, E. F. Enchentes e saúde pública – uma questão na literatura científica recente das causas, consequências e respostas para prevenção e mitigação. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1601-1615, 2012.

FRITZEN, M.; BINDA, A. L. Alterações no ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidade, hidrologia e impactos no ambiente. **Revista eletrônica Ateliê Geográfico**, v.5, n. 3, p. 239-254, dez. 2011.

FUCHS, B. E. F. **DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE CÁLCULO AUTOMATIZADO PARA PROJETOS EM DRENAGEM URBANA**. Trabalho apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina. FLORIANÓPOLIS 2011.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Orientações básicas para drenagem urbana**- Belo Horizonte: FEAM, 2006.

GONCALVES, W; PAIVA, H. N. Arvore para o ambiente urbano – **Serie Arborização Urbana**, v. 3, 243 p., 2004.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. 2008. Disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata/> Acesso em 22 jan 2020.

LEITE, M. E.; SANTOS, I. S.; ALMEIDA, J. W. L. Mudança de uso do solo na bacia do rio Vieiras, em Montes Claros/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.4, p. 779-792, 2011.

LUCIEER, A.; ROBINSON, S.; TURNER, D.; STEVE, HA.; KELCEY, J. 2012. Using a Micro-UAV for ultra-high resolution multi-sensor observations of Antarctic moss beds. International Archives of the Photogrammetry, **Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume XXXIX-B1, 2012.

MARCIANO, Alexandre Germano. Modelagem Hidrodinâmica com a Integração do Mapeamento das Inundações do Rio Sapucaí do Município de Itajubá/MG. 2019. 102 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Hídrica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Hídrica – Mestrado Profissional da Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2019.

MARTINS, J. R. S. **Gestão da drenagem urbana: só tecnologia será suficiente?**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. Práticas de geoprocessamento em QGIS / Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. 2. ed. --- Belo Horizonte: Semad, 2019.

MITTELSTADT JÚNIOR, Luiz Carlos. **Aproveitamento de águas pluviais e drenagem urbana: Influência de reservatórios de retenção no controle de vazões**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, DCEEng, UNIJUÍ, Santa Rosa, 2014.

MONTE, B. E. O.; COSTA, D. D. C.; CHAVES, M. B.; MAGALHÃES, L. O.; UVO, C. B. Modelagem hidrológica e hidráulica aplicada ao mapeamento de áreas inundáveis. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, vol. 21 no.1 Porto Alegre jan./mar. 2016 p. 152 – 167.

MOURA, Priscilla Macedo. **Contribuição para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana**. Belo Horizonte. 2004.

NOÉ, Y. et al. **Sistemas de Información Geográfica com QGIS 2.x**. Salta, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, mai. de 2014. 173 p.

Disponível em: <http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_qgis2_x.pdf>. Acesso em: 23 jan 2020.

PAZ, A. R. D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de rios com grandes planícies de inundação. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. ABRH: Campo Grande, 2009.

PHILIPPI Jr. A, **Saneamento, saúde e ambiente**: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri, SP: Manoele, 2005- (coleção Ambiental; 2).

POMPÊO, C. A. **Drenagem Urbana Sustentável**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos / Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, pag. 15-23, Porto Alegre, RS, 2000.

PONTE, J. P. X.; LEÃO, M. B. M. S.; BARROS, N. S.; CUTRIM, R. S. **URBANIZAÇÃO E DRENAGEM URBANA: CONCEPÇÕES DIVERGENTES NA BACIA DA ESTRADANOVA, BELÉM-PA**. 3º *Seminário Nacional sobre o Tratamento de Áreas de Preservação Permanente em Meio Urbano e Restrições Ambientais ao Parcelamento do Solo*. 2014.

PUHL, T. L. ENSAIO SOBRE A INFLUÊNCIA DE LOTEAMENTOS URBANOS NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL: ESTUDO DE CASO DE SANTA ROSA - RS. **Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil**. UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – UNIJUI. Santa Rosa, 2016.

RAMOS, C. L.; BARROS, M. T. L.; PALOS, J. C. F. **DIRETRIZES BÁSICAS PARA PROJETOS DE DRENAGEM URBANA NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO**. 2009.

SANTOS, I. et al., 2001. **Hidrometria Aplicada**. Lactec, Curitiba.

SANTOS JÚNIOR, V. J.; SANTOS, C. O. A evolução da urbanização e os processos de produção de inundações Urbanas. **Estação Científica (UNIFAP)** Macapá, v.3 n. 1, p. 19-30, jan.-jun. 2013.

SÃO LOURENÇO (MG), Lei Ordinária nº1814/1993 de 08 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre o Parcelamento do Solo Urbano e dá outras providências. Disponível em

<<http://www.legislador.com.br/LegislatorWEB.ASP?WCI=LeiTexto&ID=332&inEspecieLei=1&nrLei=1814&aaLei=1993&dsVerbete=>>. Acesso em 10 ago 2020.

SÃO LOURENÇO (MG) Lei Ordinária nº 2405 de 21 de dezembro de 1999. Altera redação da Alínea “B”, do artigo 5º, Da Lei Municipal n.º1.814/93. Disponível em <<http://www.legislador.com.br/LegislatorWEB.ASP?WCI=LeiTexto&ID=332&inEspecieLei=1&nrLei=2405&aaLei=1999&dsVerbete=>> Acesso em 10 de ago 2020.

SAREWITZ, D.; PIELKE, R. A.; BYERLY, R. et al. **Prediction: Decision-Making and the Future of Nature.** Washington, DC: Island Press, 2010.

SILVEIRA, C. A.; DIAS, P.; Schuch, F. S.A PROBLEMÁTICA DAS INUNDAÇÕES EM ÁREAS URBANAS SOB A ÓTICA DA PERMEABILIDADE DO SOLO. COBRAC 2014 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · UFSC Florianópolis · 12 à 16 de Outubro 2014.

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. – **CADERNOS TÉCNICOS DE COMPOSIÇÕES PARA PASSEIOS DE CONCRETO LOTE 3 Versão: 002 Vigência: 07/2016 Última atualização: 11/2016;** Disponível em:<[http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aféridas-lote3-saneamento-infraestrutura-urbana/SINAPI CT LOTE3 PASSEIOS v002.pdf](http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aféridas-lote3-saneamento-infraestrutura-urbana/SINAPI_CT_LOTE3_PASSEIOS_v002.pdf)> Acesso em 09 jun 2020.

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **CADERNOS TÉCNICOS DE COMPOSIÇÕES PARA PAVIMENTO INTERTRAVADO - LOTE 3; Versão: 004 Vigência: 12/2015 - Última atualização: 01/2017;** Disponível em: [http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aféridas-lote3-saneamento-infraestrutura-urbana/SINAPI CT LOTE3 INTERTRAVADO v004.pdf](http://www.caixa.gov.br/Downloads/sinapi-composicoes-aféridas-lote3-saneamento-infraestrutura-urbana/SINAPI_CT_LOTE3_INTERTRAVADO_v004.pdf) Acesso em 09 jun 2020.

SINAPI – Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil. **RELATÓRIO DE INSUMOS E COMPOSIÇÕES – ABR/20 - COM DESONERAÇÃO**

PUBLICADO EM 25 DE MAIO DE 2020; Disponível em:<http://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_648> Acesso em 09 jun 2020.

SOUZA, V. C. B. GESTÃO DA DRENAGEM URBANA NO BRASIL: DESAFIOS PARA A SUSTENTABILIDADE. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**. Gesta, v.1, n.1 – Souza, p. 057-072, 2013.

SUDERHSA -Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. **PROGRAMA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA. PLANO DIRETOR DE DRENAGEM PARA A BACIA DO RIO IGUAÇU NA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**, 2002.

TONETTI, E. L. et al. Alagamentos frequentes na área urbana de Paranaguá-PR. **Geografia (Londrina)**, v.22, n.2. p. 43-56, maio/ago. 2013.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. Drenagem urbana e controle de erosão In: Carlos E. M. Tucci; David da Motta Marques. (Org.). **Avaliação e controle da drenagem urbana**. Porto Alegre, RS: EDUFRGS, 2000.

TUCCI, C. E. M.; MARQUES, D. M. L. M. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Porto Alegre. Editora ABRH, 1ª edição: 2001 vol. 2, p. 548.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem Urbana**. São Paulo: Cienc. Cult. v. 55, n. 4, 2003.

TUCCI, C.E. M.; BERTONI, J.C. (orgs). **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003, p. 150.

TUCCI, C. E. M. **Águas Urbanas**. São Paulo: Estudos Avançados. V. 22, n. 63, 2008.

TUCCI, C.E.M. Aspectos Institucionais no Controle de Inundações. I Seminário de Recursos Hídricos do Centro-Oeste. Brasília. **Anais do I Seminário de Recursos**. Brasília, 2009.

TUCCI, C.E.M. 1995. Impacto da urbanização nas cheias urbanas e na produção de Sedimentos. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, relatório de pesquisa FAPERGS. 120p

ZHANG, Q.; ZHANG, J.; JIANG, L.; LIU, X.; TONG, Z. Flood Disaster Risk Assessment of Rural Housings — a case study of Kouqian Town in China. Int J Environ Res Public Health 2014; 11(4):3787-3802.

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

WORLD BANK (WB), UNITED NATIONS (UN). **Natural hazards, unnatural disasters: the economics of effective prevention**. Washington DC: WB, UN; 2010.

VALIN, M. M. Uso de Softwares Livres para o Desenvolvimento de SIG WEB de Acessibilidade a Atrativos Turísticos: Estudo de Caso da Cidade de Campinas - SP. 2009. 129 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) – da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

Endereços Relacionados:

<https://normas-abnt.espm.br/index.php?title=At%C3%A9+tr%C3%AAs+autores>

http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html

<http://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/webappviewer/index.html?id=3a78c627739e448f8ea7e3e6aa9b7a1b>

ANEXO 1 - PAVIMENTOS POROSOS

A.1.1 – DEFINIÇÃO:

Os pavimentos porosos são dispositivos de controle na fonte que permitem que água caída sobre eles infiltre para um reservatório posicionado abaixo deles, na camada de base. Esta camada é feita geralmente de cascalho poroso. Mantas geotêxteis são colocadas entre a base e o solo, de forma a evitar a passagem de finos.

A.1.2 - TIPOS:

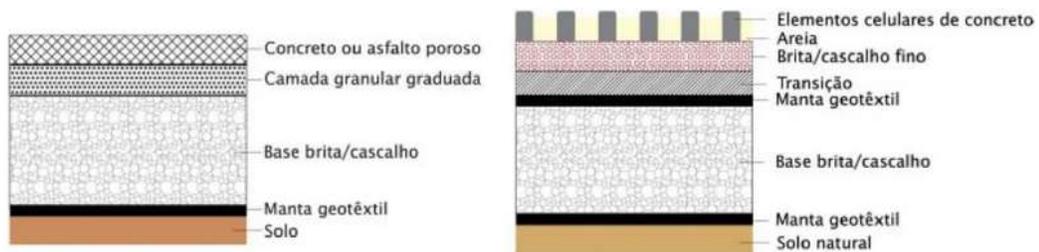
Visando a infiltração, o revestimento da superfície é poroso ou é um revestimento impermeável com entradas pontuais para a camada de base porosa. No primeiro caso, para garantir a porosidade do revestimento na superfície, retira-se do traço do concreto ou asfalto convencionais as partículas mais finas. No segundo caso, a permeabilidade do pavimento pode ser obtida com a implantação de elementos celulares de concreto intercalados com areia.

Assim, podemos dividir em dois tipos básicos de revestimento superficial permeável:

- Concreto ou asfalto poroso;
- Blocos vazados de concreto;

A Figura 8.1, abaixo ilustra os tipos de pavimento e suas respectivas bases até o solo;

Figura A1.1- Tipos de Revestimentos e Camadas de Base de Pavimentos Porosos



FONTE: Canholi (2014)

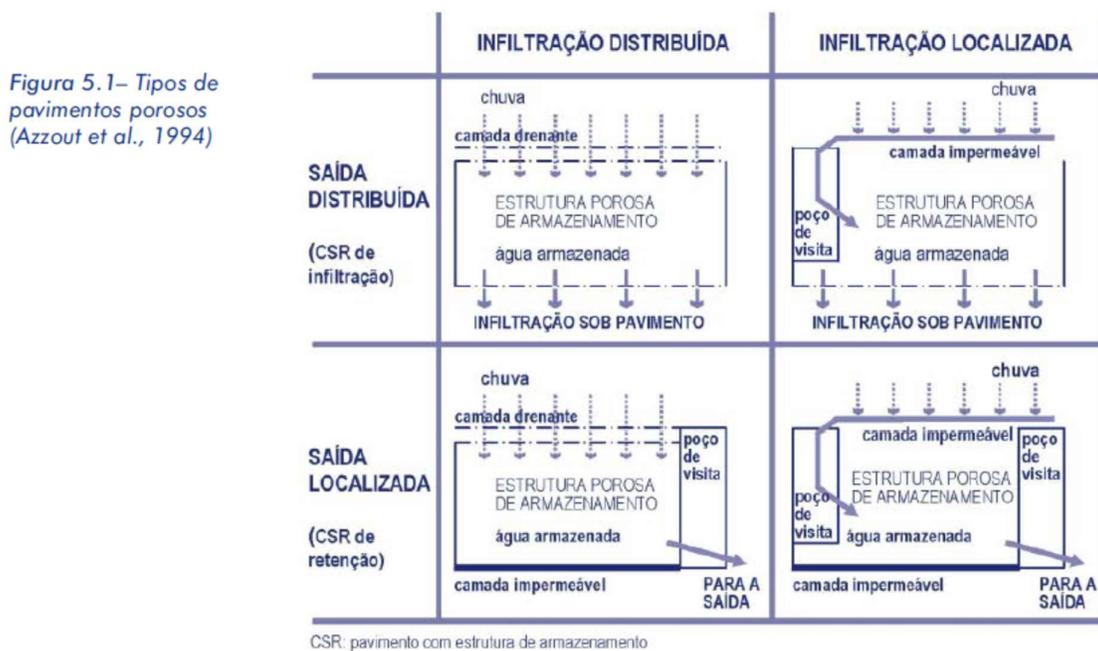
Cabe salientar que na Europa existe a oferta comercial de blocos alveolares em plástico como alternativa para reserva subterrânea em substituição à camada porosa com cascalho. O preço é maior, mas há a vantagem de possuir um grau de porosidade maior. Esta solução ainda não chegou ao mercado nacional.

Quanto à funcionalidade, os pavimentos porosos podem dividir-se em quatro tipos,:

- Infiltração e revestimento permeável
- Infiltração e revestimento impermeável
- Retenção e revestimento permeável
- Retenção e revestimento impermeável

A Figura A1.2, a baixo, ilustra os quatro tipos de pavimentos porosos;

Figura A1.2- Tipos de Pavimentos Porosos



FONTE: SUDERHSA Manual de Drenagem Urbana – Região Metropolitana de Curitiba (2013)

A.1.3 - ESCOLHA DO TIPO DE PAVIMENTO A SER ADOTADO:

A escolha do tipo de pavimento a ser adotado é função de vários fatores. Com base nas recomendações de Schueler (1987) no Manual de Drenagem de Washington (EUA), e na experiência francesa de Azzout et al., são esses os fatores primordiais que devem ser observados na escolha do tipo e no dimensionamento das soluções locais, inclusive nos pavimentos porosos:

- Área da bacia de contribuição a ser controlada
- Capacidade de infiltração do solo
- Nível do lençol freático
- Risco de contaminação de aquífero
- Fragilidade do solo à ação da água
- Permeabilidade do subsolo
- Declividade do terreno
- Ausência de exutório
- Disponibilidade de área
- Presença de instalações subterrâneas
- Restrição de urbanização
- Afluência poluída
- Afluência com alta taxa de sedimentos
- Risco sanitário por falha de operação
- Risco sedimentológico por falha de operação
- Sistema viário adjacente e intensidade de tráfego
- Flexibilidade de desenho
- Limites de altura ou profundidade

A.1.4 - VANTAGENS E DESVANTAGENS:

Além da grande redução no pico dos escoamentos gerados na superfície, os pavimentos porosos possuem vantagens adicionais de custo (comparada ao de uma rede pluvial convencional), conforto (menos ruído de tráfego, menos poças d'água, menor risco de aquaplanagem) e melhoria ambiental (filtração de poluentes leves e sedimentos finos e recarga do aquífero).

Uma grande desvantagem dos pavimentos porosos é a possibilidade de contaminação do lençol freático, nos casos de percolação direta para o solo do líquido infiltrado. Além disso, demanda manutenção regular especializada ao longo da vida útil, para evitar a colmatação (entupimento) das camadas permeáveis.

Os pavimentos porosos são adequados para uso em vias de tráfego leve, estacionamentos, calçadas, praças e quadras de esporte. Apesar dos pavimentos porosos terem sido desenvolvidos para medidas de controle na fonte eles podem, em alguns casos, também ser aplicados para controle em outras escalas, ou seja, para áreas maiores de drenagem.

ANEXO 2 – DEFINIÇÃO DOS CUSTOS DIFERENTES PAVIMENTOS – CALÇADA;

Para definirmos os custos dos diferentes tipos de pavimentos adotados para as calçadas – áreas destinadas ao trânsito de pedestres, utilizamos o guia SINAPI, da Caixa Econômica Federal.

A.2.1 – PAVIMENTO PERMEÁVEL

Para o levantamento de custos, escolheu-se no guia SINAPI para pavimentos intertravados o tipo C; bloco intertravado tipo pisograma; A Figura A2.1, abaixo, demonstra os tipos de pavimentos cuja composição de preço consta no guia;

Figura A2.1- Tipos de Pavimentos Intertravados

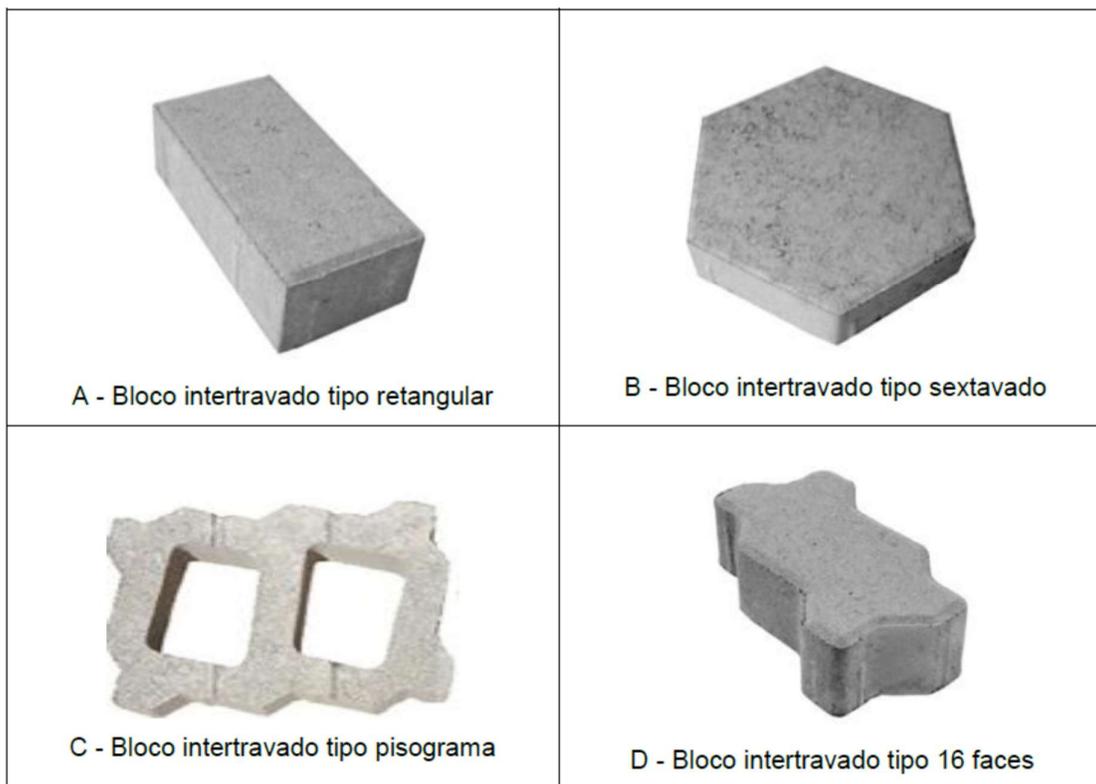
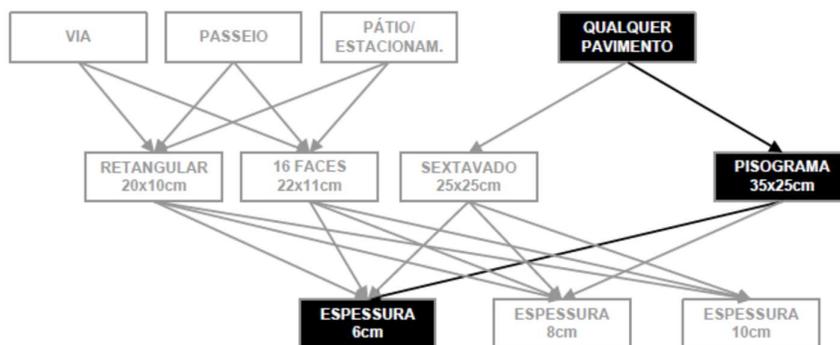


Figura 2: Tipos de blocos intertravados considerados nas aferições

FONTE: SINAPI Cadernos
Técnicos De Composições Para
Pavimento Intertravado (2017)

A Figura A2.2 a seguir representa a compilação dos dados para a composição de preço do pavimento escolhido;

Figura A2.2- Compilação de Dados para a composição dos custos do piso permeável escolhido



Código / Seq.	Descrição da Composição	Unidade
03.PAVI.INTE.001/001	EXECUÇÃO DE PAVIMENTO EM PISO INTERTRAVADO, COM BLOCO PISOGRAMA DE 35 x 25 CM, ESPESSURA 6 CM. AF_12/2015	M ²
Código SIPC		
92391		
Vigência: 12/2015		Última atualização: 01/2017

COMPOSIÇÃO				
Item	Código	Descrição	Unidade	Coefficiente
C	88260	CALCETEIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0970
C	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,0970
C	91277	PLACA VIBRATÓRIA REVERSÍVEL COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, FORÇA CENTRÍFUGA DE 25 KN (2500 KGF), POTÊNCIA 5,5 CV - CHP DIURNO. AF_08/2015	CHP	0,0041
C	91278	PLACA VIBRATÓRIA REVERSÍVEL COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, FORÇA CENTRÍFUGA DE 25 KN (2500 KGF), POTÊNCIA 5,5 CV - CHI DIURNO. AF_08/2015	CHI	0,0444
C	91283	CORTADORA DE PISO COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, POTÊNCIA DE 13 HP, COM DISCO DE CORTE DIAMANTADO SEGMENTADO PARA CONCRETO, DIÂMETRO DE 350 MM, FURO DE 1" (14 X 1") - CHP DIURNO. AF_08/2015	CHP	0,0037
C	91285	CORTADORA DE PISO COM MOTOR 4 TEMPOS A GASOLINA, POTÊNCIA DE 13 HP, COM DISCO DE CORTE DIAMANTADO SEGMENTADO PARA CONCRETO, DIÂMETRO DE 350 MM, FURO DE 1" (14 X 1") - CHI DIURNO. AF_08/2015	CHI	0,0448
I	370	AREIA MEDIA - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (SEM FRETE)	M ³	0,0568
I	4741	PO DE PEDRA (POSTO PEDREIRA/FORNECEDOR, SEM FRETE)	M ³	0,0036
I	40517	BLOQUETE/PISO DE CONCRETO - MODELO BLOCO PISOGRAMA/CONCREGRAMA 2 FUROS, *35 CM X 15* CM, E = *6* CM, COR NATURAL	M ²	1,0042

FONTE: SINAPI Cadernos
Técnicos De Composições Para
Pavimento Intertravado (2017)

O Tabela A2.1, a seguir, demonstra a composição de custos para o pavimento permeável conforme consta no guia; os preços unitários foram obtidos também no SINAPI, com valores de referência para abril de 2020;

Tabela A2.1 - Composição dos Custos de Piso Permeável

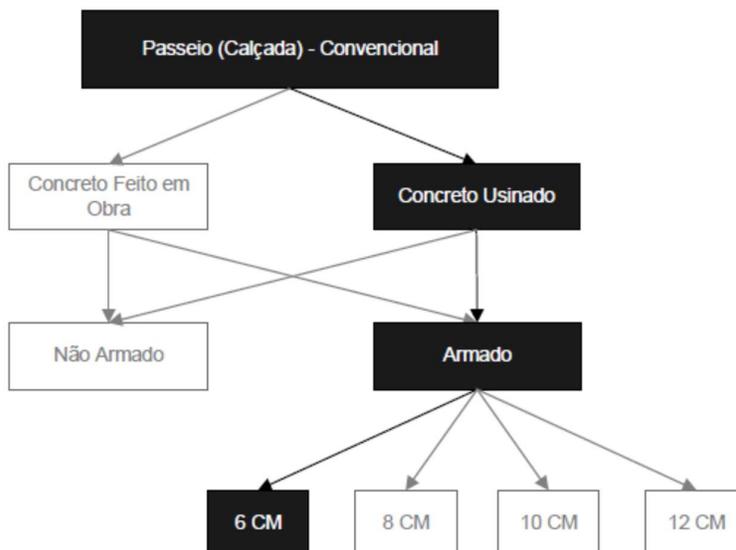
Insumo	Unidade	Consumo/ m² de piso	Preço unit.	Custo / m² de piso
Calceteiro	hora	0,0970	10,31	1,00007
Servente	hora	0,0970	9,65	0,93605
Placa vibratória	Hora produtiva	0,0041	8.227,02	0,029069
Placa vibratória	Hora Improdutiva	0,0444	8.227,02	0,021756
Cortadora de piso	Hora produtiva	0,0037	8.261,70	0,058534
Cortadora de piso	Hora Improdutiva	0,0448	8.261,70	0,027776
Areia Média	m ³	0,0568	66,67	3,786856
Pó de pedra	m ³	0,0036	66,84	0,240624
Bloquete de piso-grama	m ²	1,0042	47,10	47,29782
			Custo total m ²	53,398555
			Custo total / ha	533.985,55

Nota-se que na tabela da SINAPI trabalha-se com um grande número de casas decimais, isto se deve a tentativa de diminuir o erro acumulado para grandes áreas.

A.2.2 – PAVIMENTO IMPERMEÁVEL

Para o levantamento de custos, escolheu-se no guia SINAPI para passeios de concreto; A Figura A2.3, a seguir, a compilação dos dados para a composição de preço do pavimento escolhido;

Figura A2.3- Compilação de Dados para a composição dos custos do piso impermeável escolhido



Código / Seq.	Descrição da Composição	Unidade
03.PISO.PASS.006/01	EXECUÇÃO DE PASSEIO (CALÇADA) OU PISO DE CONCRETO COM CONCRETO MOLDADO IN LOCO, USINADO, ACABAMENTO CONVENCIONAL, ESPESSURA 6 CM, ARMADO. AF_07/2016	M2
Código SIPCI		
94993		
Vigência: 07/2016		Última atualização: 11/2016

COMPOSIÇÃO				
Item	Código	Descrição	Unidade	Coeficiente
C	88309	PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1183
C	88262	CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,1354
C	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	H	0,2537
I	34492	CONCRETO USINADO BOMBEAVEL, CLASSE DE RESISTENCIA C20, COM BRITA 0 E 1, SLUMP = 100 +/- 20 MM, EXCLUI SERVICO DE BOMBEAMENTO (NBR 8953)	M3	0,0728
I	4517	PEÇA DE MADEIRA NATIVA/REGIONAL 2,5 X 7,0 CM (SARRAFO-P/FORMA)	M	0,4500
I	7156	TELA DE ACO SOLDADA NERVURADA, CA-60, Q-196, (3,11 KG/M2), DIAMETRO DO FIO = 5,0 MM, LARGURA = 2,45 M, ESPACAMENTO DA MALHA = 10 X 10 CM	M2	1,1224
I	3777	LONA PLASTICA PRETA, E= 150 MICRA	M2	1,1280

FONTE: SINAPI Cadernos Técnicos De Composições
Para Passeios De Concreto (2016)

O Tabela A2.2, abaixo, demonstra a composição de custos para o pavimento impermeável conforme consta no guia; os preços unitários foram obtidos também no SINAPI, com valores de referência para abril de 2020;

Tabela A2.2 - Composição dos Custos de Piso Impermeável

Insumo	Unidade	Consumo/ m² de piso	Preço unit.	Custo / m² de piso
Pedreiro	hora	0,1183	14,75	1,744925
Carpinteiro de formas	hora	0,1354	14,75	1,99715
Servente	hora	0,2537	9,65	2,448205
Concreto Usinado C20	m ³	0,0728	240,70	17,52296
Peça de Madeira Nativa/regional	m	0,4500	1,19	0,5355
Tela de Aço 10x10cm e=5mm	m ²	1,1224	21,74	24,40098
Lona Plástica preta	m ²	1,1280	0,98	1,10544
			Custo total / m ²	49,755156
			Custo total / ha	497.551,56

ANEXO 3 – MAPAS E TABELA

ANEXO 4 – RESULTADOS PARA DIFERENTES TEMPOS DE RECORRENCIA

TR = 10 ANOS

Loteamento	Intensidade mm/h	Vazão – Cenário I m ³ /s	Vazão – Cenário II m ³ /s	Vazão – Cenário III m ³ /s	Vazão – Cenário IV m ³ /s
Loteamento A	99,90	0,251	0,684	0,620	0,605
Loteamento B	158,71	0,912	2,485	2,254	2,194
Loteamento C	164,94	0,574	1,567	1,421	1,384
Loteamento D	175,81	0,480	1,299	1,179	1,148

TR = 25 ANOS

Loteamento	Intensidade mm/h	Vazão – Cenário I m ³ /s	Vazão – Cenário II m ³ /s	Vazão – Cenário III m ³ /s	Vazão – Cenário IV m ³ /s
Loteamento A	117,27	0,295	0,803	0,728	0,710
Loteamento B	186,31	1,070	2,917	2,646	2,576
Loteamento C	193,63	0,673	1,839	1,668	1,625
Loteamento D	206,39	0,563	1,525	1,384	1,348

TR = 50 ANOS

Loteamento	Intensidade mm/h	Vazão – Cenário I m ³ /s	Vazão – Cenário II m ³ /s	Vazão – Cenário III m ³ /s	Vazão – Cenário IV m ³ /s
Loteamento A	132,40	0,333	0,906	0,822	0,802
Loteamento B	210,34	1,208	3,293	2,987	2,908
Loteamento C	218,60	0,760	2,076	1,883	1,835
Loteamento D	233,00	0,636	1,721	1,563	1,522

TR = 100 ANOS

Loteamento	Intensidade mm/h	Vazão – Cenário I m ³ /s	Vazão – Cenário II m ³ /s	Vazão – Cenário III m ³ /s	Vazão – Cenário IV m ³ /s
Loteamento A	149,47	0,376	1,023	0,928	0,905
Loteamento B	237,46	1,364	3,718	3,373	3,283
Loteamento C	246,79	0,858	2,344	2,126	2,071
Loteamento D	263,05	0,718	1,943	1,764	1,718