

**FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA**

**PATRÍCIA DE SOUZA BARROS**

**SAMUEL BATISTA BAÍA**

**AVALIAÇÃO DA CAMADA POROSA DE ATRITO (CPA) COMO ALTERNATIVA  
PARA AGILIDADE NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA PRAÇA CESÁRIO  
ALVIM EM CARATINGA/MG**

**CARATINGA**

**2017**

**PATRÍCIA DE SOUZA BARROS**  
**SAMUEL BATISTA BAÍA**  
**FACULDADES INTEGRADAS DE CARATINGA**

**AVALIAÇÃO DA CAMADA POROSA DE ATRITO (CPA) COMO ALTERNATIVA  
PARA AGILIDADE NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA PRAÇA CESÁRIO  
ALVIM EM CARATINGA/MG**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado ao Curso de Engenharia Civil  
das Faculdades Integradas de Caratinga,  
como requisito parcial à obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Drenagem

Orientador: Esp. José Salvador Alves

**CARATINGA**

**2017**

## TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Avaliação da camada porosa de atrito (CPA) como alternativa para agilidade no escoamento superficial na Praça Cesário Alvim em Caratinga-MG, elaborado pelo(s) aluno(s) Patrícia de Souza Barros e Samuel Batista Baia foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

**BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

Caratinga 5 de Dezembro de 2017

  
\_\_\_\_\_  
José Salvador

Prof. Orientador

  
\_\_\_\_\_  
José Nelson

Prof. Avaliador 1

  
\_\_\_\_\_  
Camila Silva

Prof. Examinador 2

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos que de alguma forma contribuiu para a realização deste trabalho, tornando essa tarefa possível, esse Trabalho de Conclusão de Curso é resultado de um esforço coletivo, pois todos ao nosso redor contribuíram de alguma forma para o seu desenvolvimento, seja com palavras de incentivo, ou com reflexões a respeito do tema. Em especial gostaríamos de agradecer:

- Primeiramente a Deus pela capacidade de persistir, e concluir mais uma etapa de nossas vidas;
- Aos nossos amáveis e queridos pais, agradecemos por tê-los sempre presentes nossas vidas, nos dando todo apoio e incentivo;
- Ao nosso professor Orientador Jose Salvador Alves, fica aqui nosso agradecimento imensurável pelas valiosas orientações, nos guiando no desenvolvimento do presente trabalho;
- A nossa querida professora Camila Alves agradecemos de forma muito especial pela ajuda e suporte em tudo que precisamos.

A todos vocês,

**MUITO OBRIGADO!**

## RESUMO

Desde os primórdios da civilização humana o homem tem convivido com os alagamentos, tendo como principal decorrência as cheias dos rios onde as primeiras vilas se instalavam. Com o passar do tempo, a população nos centros urbanos foi aumentando, sendo adotados os preceitos higienistas, que incentivava a canalização dos cursos d'água em perímetro urbano, evitando assim doenças de veiculação hídrica. Mais adiante na história, novas formas de pavimentos foram surgindo, oferecendo aos usuários uma melhor experiência de rolamento, porém, retirou quase toda permeabilidade das áreas urbanas. Tendo em vista estes dois acontecimentos, mais o crescimento contínuo da população urbana, as canalizações de drenagem do escoamento superficial que outrora de mostrava eficiente, já não suportava o volume crescente de água em períodos de chuva, causando assim alagamentos, que trazem prejuízo humano e financeiro para a população. O objetivo desse estudo foi avaliar a camada porosa de atrito como alternativa para redução do escoamento superficial na Praça Cesário Alvim em Caratinga/MG. Foi realizada a coleta de dados referente à precipitação, a verificação do sistema de drenagem atual da cidade de Caratinga, e a verificação do impacto da camada porosa de atrito na agilidade do escoamento superficial. Com essas análises a camada porosa de atrito apresentou resultados satisfatórios, sendo capaz de absorver os volumes de água decorrentes de precipitação, impactando positivamente na agilidade do escoamento superficial.

**Palavras-chave:** Drenagem Urbana. Camada Porosa de Atrito. Escoamento Superficial.

## ABSTRACT

From the beginnings of the human civilizations or the man has lived with the floods, having as main result as floods of the rivers where first towns settled down. With the passage of time, the population in the urban centers was increased, being adopted the hygienist precepts, that encourage the channeling of the water courses in the urban perimeter, thus avoiding the disease of water transmission. Further down in history, new forms of pavements have been overpowering, offering users a better rolling experience, however, it has removed almost all of the permeability of urban areas. Given these two events, more than the continuous growth of the urban population, such as, for example, surface drainage organizations, efficient energy production, could no longer withstand the increasing volume of water in periods of rainfall, thus causing flooding , which bring human and financial damage to the population. The objective of this study was to evaluate the porous layer of friction as an alternative to reduce surface runoff at Praça Cesário Alvim in Caratinga / MG. A data collection was carried out regarding precipitation, a selection of the current drainage system of the city of Caratinga, and a selection of the impact of the porous layer of friction on the agility of the surface runoff. With these analyzes the porous layer of friction presented satisfactory results, being able to absorb the volumes of water due to precipitation, positively impacting the agility of the surface runoff.

**Keywords:** Urban Drainage.Porous Layer of Friction. Surface runoff.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - População Brasileira: Urbana x Rural de 1970 a 2050 .....	19
Figura 2 - Fluxo do balanço hídrico antes e após a urbanização .....	20
Figura 3 - A urbanização e seus efeitos no hidrograma .....	21
Figura 4 - Modelo de planilha para cálculo de galerias de águas pluviais.....	28
Figura 5 - Tipos de pavimentos permeáveis – Revestimento x Função .....	37
Figura 6 - Sistemas de pavimentos permeáveis com infiltração .....	38
Figura 7 - Demonstração de permeabilidade do Concreto poroso .....	40
Figura 8 - Blocos vazados preenchidos com grama.....	41
Figura 9 - Blocos de concretos intertravados assentados sobre um berço de areia .	41
Figura 10 - Concreto asfáltico poroso .....	42
Figura 11 - Demonstração da permeabilidade da CPA .....	44
Figura 12 - Trecho de pavimentado com CA, seguido por CPA.....	45
Figura 13 - Trecho pavimentado com CPA na Bahia .....	45
Figura 14 - Execução da camada porosa de atrito – CPA .....	48
Figura 15 - Pavimento com superfície colmatada .....	50
Figura 16 - Revestimento CPA BR-158/386/RS.....	51
Figura 17 - Revestimento CPA BR-285/RS.....	51
Figura 18 - Climograma de Caratinga/MG .....	54
Figura 19 - Precipitação acumulada mensal em 2017 .....	55
Figura 20 - Precipitação acumulada no mês de Fevereiro 2017 .....	56
Figura 21 - Área de contribuição das ruas entorno da rua Nestor Leite de Mattos ...	59
Figura 22 - Área de aplicação da CPA.....	59
Figura 23 - Modelo do pavimento com aplicação da CPA.....	60

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação e projeção entre a população urbana e rural de 1970 a 2050....	18
Tabela 2 - Faixas granulométricas da camada porosa de atrito.....	46
Tabela 3 - Climática de Caratinga/MG .....	54

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Galerias de transporte de vazão da área do entorno da rua Nestor Leite de Mattos.....	29
Quadro 2 - Galerias de transporte de vazão da Rua João Pinheiro à Avenida Benedito Valadares .....	30
Quadro 3 - Correção dos Diâmetros das galerias de transporte de vazão da área do entorno da rua Nestor Leite de Mattos .....	32
Quadro 4 - Correção dos diâmetros das galerias de transporte de vazão da Rua João Pinheiro à Avenida Benedito Valadares .....	33
Quadro 5 - Principais camadas do pavimento permeável .....	43
Quadro 6 - Precipitação a cada hora do dia 05/02/17 .....	56

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

$\theta$	Ângulo Central
$A$	Área
CPA	Camada Porosa de Atrito
$n$	Coeficiente de Manning
$C$	Coeficiente de Runoff
CA	Concreto Asfáltico
$K$	Constante
$C_j$	Cota do PV no Terreno a Jusante
$C_m$	Cota do PV no Terreno a Montante
$C_{ij}$	Cota Inferior da Galeria Jusante
$C_{im}$	Cota Inferior da Galeria Montante
$S_g$	Declividade da Galeria
$I$	Declividade da Tubulação
$S_t$	Declividade do Terreno em Trecho
$D$	Diâmetro do Tubo
$L$	Extensão do Trecho
$i$	Intensidade Pluviométrica

$PV$	Poço de Visita
$h/D$	Relação Altura-Diâmetro
$tp$	Tempo de Percurso
$QTubo$	Vazão do Tubo
$QLoc$	Vazão Local
$QTot$	Vazão Total
$V$	Velocidade de Escoamento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	Contextualização .....	14
1.2	Objetivos .....	15
1.2.1	Objetivo geral .....	15
1.2.2	Objetivos específicos.....	16
1.3	Estruturação da dissertação.....	16
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....</b>	<b>17</b>
2.1	A urbanização e medidas de controle do escoamento superficial.....	17
2.1.1	Desenvolvimento e problemas decorrentes da drenagem urbana.....	17
2.1.2	Ciclo hidrológico e balanço hídrico .....	19
2.1.3	Impacto da urbanização no hidrograma .....	20
2.2	Sistemas de drenagem.....	21
2.2.1	Medidas de controle .....	22
2.2.2	Sistema de drenagem da Praça Cesário Alvim .....	24
2.3	Pavimentos permeáveis .....	34
2.3.1	Breve histórico de pavimentos permeáveis no Brasil .....	35
2.3.2	Tipos de pavimentos permeáveis .....	37
2.4	Tipos de materiais usados como revestimentos permeáveis .....	39
2.4.1	Concreto Poroso .....	40
2.4.2	Blocos de concreto vazados.....	40
2.4.3	Blocos intertravados de concreto .....	41
2.4.4	Concreto asfáltico poroso.....	42
2.5	Camada porosa de atrito (CPA) .....	43
2.5.1	Permeabilidade da CPA .....	46

2.5.2	Aplicação da CPA .....	47
2.5.3	Vantagens e desvantagens .....	48
2.5.4	Manutenção.....	49
2.5.5	CPA no Brasil e em outros países.....	50
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>53</b>
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>54</b>
4.1	Dados pluviométricos de Caratinga/MG .....	55
4.2	Atual sistema de drenagem em Caratinga .....	57
4.3	Aplicação da CPA nas ruas da Praça Cesário Alvim, Caratinga/MG .....	57
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>61</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>62</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização

O avanço da urbanização em pequenas cidades, muitas vezes, desprovido de um prévio planejamento da ocupação e sem levar em conta o impacto que isso gera ao meio ambiente, resulta em graves consequências, especialmente no ciclo hidrológico. O aumento da impermeabilização decorrente da urbanização aumenta o escoamento superficial o que leva à redução dos tempos de pico dos hidrogramas locais, tornando os alagamentos mais frequentes (TUCCI, 2003).

Com o passar dos anos, percebeu-se que era necessário uma drenagem mais eficiente para diminuir a incidência de alagamentos, que acarretam em prejuízos para a população que ocupam as áreas de risco. A solução tradicionalmente adotada optava por canalizar o escoamento, transferindo a inundação de um ponto para o outro a jusante da bacia.

Para reduzir os impactos da urbanização, algumas medidas de controle têm sido adotadas, visando reduzir ou eliminar os alagamentos decorrentes das precipitações. Estas medidas podem ser classificadas em dois grupos: as estruturais e às não estruturais. Segundo Tucci (1997 p.12), as medidas estruturais modificam o sistema fluvial, o que evita os prejuízos decorrentes das enchentes, já as medidas não estruturais reduzem os prejuízos pela melhor convivência do homem com as enchentes.

Os pavimentos permeáveis são classificados como medidas estruturais. De acordo com Tomaz (2009), os pavimentos porosos são feitos normalmente de concreto ou asfalto em que foram retiradas as partículas mais finas, optando por uma granulometria mais aberta. A utilização deste tipo de sistemas contribui reduzindo o escoamento superficial em localidades em que houve a impermeabilização do solo.

A eficiência desse sistema está atrelada a alguns cuidados que devem ser levados em consideração, como é o caso da manutenção, já que com o passar do

tempo ocorre o entupimento dos poros drenantes do pavimento, fenômeno chamado de colmatção, dificultando a infiltração da água.

Os pavimentos permeáveis começaram a ser utilizados em 1980 e a cada dia tem ganhado mais popularidade, principalmente na América do Norte e Europa, que são os pioneiros na aplicação e no desenvolvimento de pesquisas para mensurar se estas técnicas tem efeito relevante no controle da drenagem urbana (VIRGILIS, 2009).

A camada porosa de atrito - CPA, também conhecido como revestimento asfáltico drenante, vem ganhando cada vez mais espaço nas rodovias do país por conta de sua capacidade drenante que é responsável por reduzir a espessura da lâmina d'água na superfície de rolamento, evitando assim acidentes decorrentes de aquaplanagem, garantindo mais segurança e conforto aos motoristas (BERNUNCCI, 2006).

Tendo em vista a capacidade de drenagem do CPA, pode-se trabalhar novos usos para esse tipo de camada, principalmente no que diz respeito ao meio urbano. Sua aplicação nas ruas de cidades reduzirá o escoamento superficial em períodos de chuva, acabando com os empoçamentos, e trazendo mais conforto para quem dirige e quem transita nessas ruas.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a camada de tratamento CPA (Camada Porosa De Atrito), como uma alternativa que gere agilidade no escoamento superficial provindo de picos de chuva nas ruas circundantes da Praça Cesário Alvim em Caratinga/MG.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar a coleta de dados referente à precipitação juntos aos órgãos responsáveis, analisando a frequência dos picos de precipitação;
- Verificar a capacidade de drenagem do sistema atual;
- Verificar o impacto da aplicação da CPA (Camada Porosa de Atrito) na redução do escoamento superficial na Praça Cesário Alvim, em Caratinga/MG.

### 1.3 Estruturação da dissertação

Esta dissertação de graduação foi dividida em 6 (seis) capítulos, conforme descrito pelos itens a seguir:

- Capítulo 1: Contém a introdução, com a contextualização, o objetivo geral e específico e a organização da dissertação;
- Capítulo 2: Contém a revisão bibliográfica, abordando os temas drenagem urbana, pavimentos permeáveis com foco na camada porosa de atrito;
- Capítulo 3: Contém a metodologia;
- Capítulo 4: Contém os resultados e suas discussões, apresentando a eficiência da camada porosa no escoamento superficial;
- Capítulo 5: Contém as conclusões e recomendações;
- Capítulo 6: Referências bibliográficas.

## **2 REVISÃO BIBLIOLIOGRAFICA**

### **2.1 A urbanização e medidas de controle do escoamento superficial**

O processo de urbanização vem ocorrendo há milênios, em sua maioria de forma desorganizada e sem um prévio planejamento, principalmente no que diz respeito ao sistema de drenagem urbana, que em muitos casos são dimensionados sem levar em consideração o crescimento populacional e a expansão das áreas impermeabilizadas. Para tanto, medidas de controle se fazem necessárias minimizando os impactos decorrentes da urbanização desordenada, reduzindo os impactos na rede de drenagem existente, e no escoamento superficial que impacta nos hidrogramas locais. Nos itens a seguir serão apresentados aspectos importantes, bem como os impactos da urbanização e as medidas de controle.

#### **2.1.1 Desenvolvimento e problemas decorrentes da drenagem urbana**

A partir do momento em que os homens deixaram de ser nômades e optaram por se fixar em um local, eles perceberam a facilidade de se instalarem perto dos cursos de água, no que diz respeito à obtenção de suprimentos para consumo e higiene de seus habitantes. Posteriormente quando começaram a surgir às vilas, e pequenos centros, a disponibilidade de recursos hídricos em abundância tornou-se ainda mais relevante, pois é um importante insumo para a agricultura, comunicação, comércio e navegação (FABER, 2011).

Segundo Faber (2011), pode-se constatar que o berço de grandes civilizações como Egito, Babilônia e China se deram as margens de grandes rios, como o rio Nilo, rio Eufrates, e o rio Amarelo, respectivamente, em todas estas civilizações os rios desempenharam um importante papel no seu desenvolvimento. Todavia, a proximidade desses centros aos cursos d'água tinha um honos, periodicamente o nível dos rios subia e provocavam enchentes acarretando em prejuízos a população.

Com o surgimento dos preceitos higienistas que recomenda a canalização e o controle dos cursos de água em perímetro urbano, como uma forma de reduzir a

ocorrência de doenças de veiculação hídrica, a relação até então harmônica entre os cursos d'água e aglomerados urbanos foi alterado. Segundo Baptista e colaboradores (2005), antes dos preceitos higienistas as águas servidas eram jogadas nas vias públicas, o que levantava questões sanitárias e de insalubridade como o risco de doenças e epidemias.

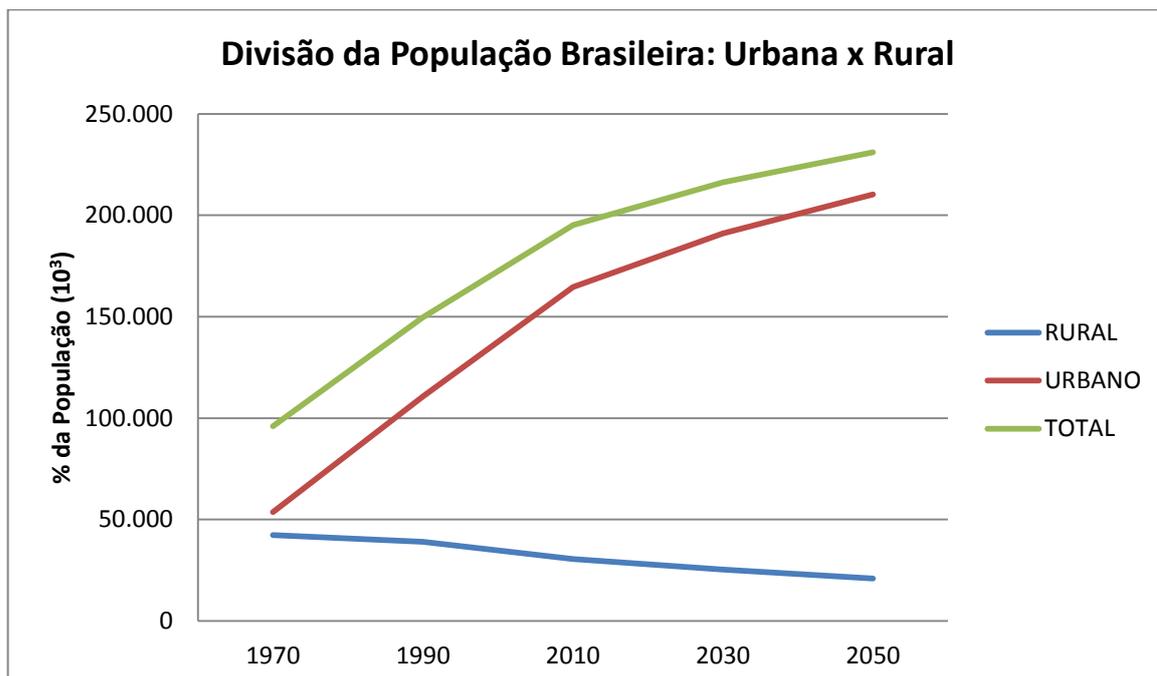
Em sua maioria, o desenvolvimento dos grandes centros aconteceu de forma desordenada. Essa crescente ocupação resultou na diminuição das áreas verdes nos meios urbanos e o aumento de superfícies impermeabilizadas. Contribuindo assim para um maior escoamento superficial e na redução dos tempos de picos dos hidrogramas locais, ocasionando assim os alagamentos (CASTRO, 2011, p. 1).

Conforme projeções da Organização das Nações Unidas – ONU, 2017, podemos perceber a existência de uma tendência acelerada do crescimento da população em áreas urbanas e a redução de populações em áreas rurais no Brasil, conforme mostrado na Tabela 1 e Figura 1. O aumento da população em áreas urbanas está diretamente relacionado à redução de áreas permeáveis, sendo um agravante a questão dos alagamentos, pois há uma sobrecarga no sistema de drenagem já existente.

**Tabela 1 - Relação e projeção entre a população urbana e rural de 1970 a 2050**

<b>População brasileira no período de 1970 a 2050 (10<sup>3</sup>)</b>					
	<b>1970</b>	<b>1990</b>	<b>2010</b>	<b>2030</b>	<b>2050</b>
<b>RURAL</b>	42.354	39.025	30.579	25.287	20.882
<b>URBANA</b>	53.706	110.623	164.631	191.032	210.238
<b>TOTAL</b>	96.060	149.648	195.210	216.319	231.120
<b>Habitantes em área urbana (%)</b>					
	55,9	73,9	84,3	88,3	90,9

Fonte: World Urbanization Prospects – The 2014 Revision, 2017

**Figura 1 - População Brasileira: Urbana x Rural de 1970 a 2050**

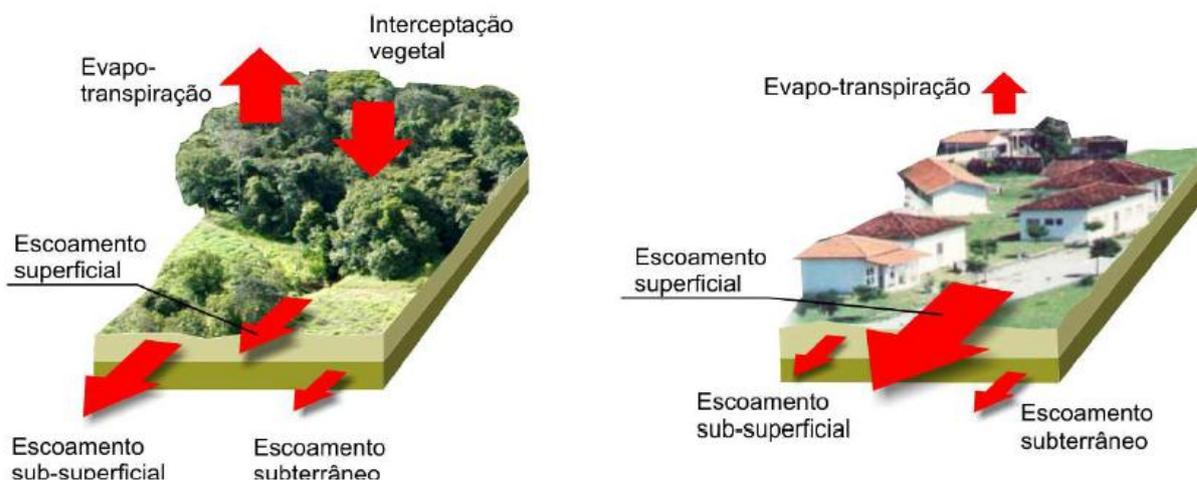
Fonte: World Urbanization Prospects – The 2014 Revision, 2017

### 2.1.2 Ciclo hidrológico e balanço hídrico

Segundo a Agência Nacional de Água (2002), o ciclo hidrológico é um processo global, que consiste no desdobramento de fases definidas em que a água percorre ao passar pela atmosfera, e o balanço hídrico resulta nas entradas e saídas de água no interior de uma determinada região hidrológica.

Os fenômenos hidrológicos ocorrem naturalmente. Tucci (2007) comenta que em condições normais a água proveniente de precipitação é interceptada pela vegetação existente, infiltrando no solo ou evaporando e retornando para a atmosfera. A água que infiltra no solo pode retornar para a superfície, ou percolar, alimentando os aquíferos. A parcela de água que continuar na superfície escoará naturalmente para os rios. Já quando se substitui a superfície permeável por impermeável, haverá uma redução na percolação da água e o aumento do escoamento superficial, que favorece a ocorrência de alagamentos, como mostra a Figura 2.

**Figura 2 - Fluxo do balanço hídrico antes e após a urbanização**



fonte: TUCCI, 2007, p.88

### 2.1.3 Impacto da urbanização no hidrograma

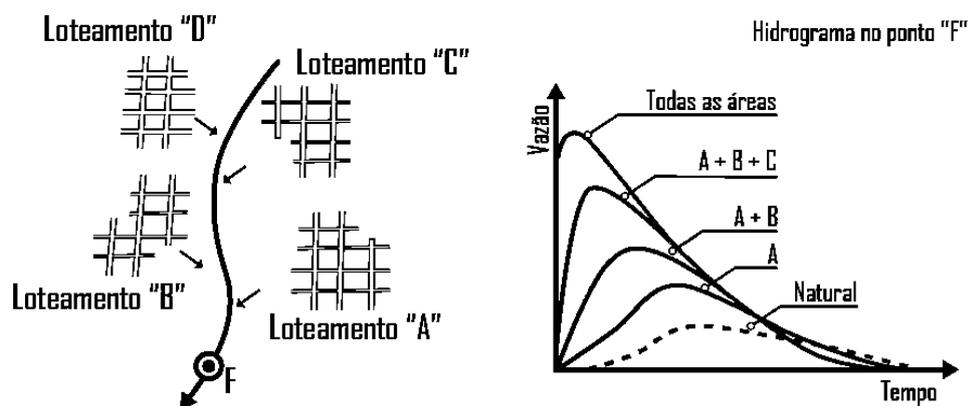
O escoamento superficial ocorre devido à ação gravitacional, que obriga a água a escorregar pelo solo indo de regiões mais altas para as mais baixas. Silveira (1993) descreve escoamento superficial como filetes de água que vão se formando sobre o relevo da região, e que em condições naturais teriam a vegetação como obstáculo ao longo do seu caminho favorecendo a infiltração.

O hidrograma é uma representação que faz relação entre o tempo e a vazão. A distribuição da vazão em determinado tempo é consequente da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico entre a ocorrência da precipitação e a vazão na bacia hidrográfica (TUCCI, 1993).

Tucci (1993) ainda comenta que o escoamento superficial afeta o hidrograma principalmente em períodos de picos de vazão, refletindo o impacto da precipitação na bacia hidrográfica. Depois de atingir a ascensão, ocorre a fase de recessão, com o fim do escoamento superficial, prevalecendo o escoamento subterrâneo por toda a bacia.

Na Figura 3 podemos perceber como a impermeabilização do solo gerada pela urbanização tem como principal consequência o aumento do escoamento superficial e dos picos dos hidrogramas.

**Figura 3 - A urbanização e seus efeitos no hidrograma**



fonte: TUCCI, 2007, p.186

## 2.2 Sistemas de drenagem

Segundo Tucci (2003), o sistema de drenagem pode ser definido “na fonte”, micro-drenagem e macrodrenagem. A drenagem na fonte é aquela que ocorre com o escoamento em lotes, condomínios, estacionamentos, passeios, etc. A micro-drenagem é caracterizada pelo sistema de condutos pluviais ou canais no nível de loteamento ou de rede primária urbana. São utilizadas na drenagem de precipitações de risco moderado. E a macrodrenagem engloba a coleta de diferentes sistemas de micro-drenagem, ela engloba áreas superiores a 2 km<sup>2</sup>. São projetadas para acolher precipitações maiores do que a micro-drenagem, com riscos de acordo com prejuízo potencial, humano e material.

No final da década de 60 a Europa e América do Norte começaram a desenvolver novas formas de tratar os problemas de enchentes, utilizando tecnologias compensatórias de drenagem, com a finalidade de minimizar os impactos da urbanização sobre os processos hidrológicos. Tais tecnologias possibilita certo controle sobre o excesso de água proveniente da impermeabilização, aumentando o tempo de transferência à jusante. Baptista e colaboradores (2005) citam tais medidas, como:

- Bacias ou reservatórios de detenção ou amortecimento de cheias;

- Estruturas de armazenamento temporário, edificadas por simples adequação de configuração topográfica, podem ser implantados em terrenos esportivos, áreas de estacionamentos e áreas livres;
- Pavimentos permeáveis, designado para armazenamento temporário e/ou infiltração, podem ser implantados em estacionamentos e no sistema viário;
- Estruturas que facilitem a infiltração e a percolação, como trincheira, valas, poços, etc;
- Canalizações de cursos d'água com técnicas que favorecem o escoamento lento ou a retenção temporária das águas;
- Tratamento de vales com zoneamento de planícies de inundação e delimitação de áreas onde não se pode construir ou impermeabilizar o solo destinado ao armazenamento temporário.

### 2.2.1 Medidas de controle

As obras de Engenharia tradicionalmente são realizadas para resolver os problemas de alagamentos nos centros urbanos, visavam canalizar os escoamentos, rapidamente os volumes de água. Essas medidas não solucionavam os problemas, apenas transferiam para regiões mais baixas, sendo assim sofriam mais com alagamentos (BAPTISTA, 2005).

Com a expansão e desenvolvimento das regiões metropolitanas brasileiras, nas últimas décadas, surgiu um novo paradigma no que se refere ao planejamento urbano. Este novo modelo tem produzido impacto relevante na concepção de projetos de sistema de drenagem, que demanda por um desenvolvimento sustentável (Righetto et al., 2009, p. 53-54). Com o passar dos anos, buscaram novas medidas que visavam modernizar o sistema de drenagem urbana, procurando diminuir os impactos nos balanços hídricos, e conseguindo a aproximação com características hidrológicas originais.

Com o planejamento para implantação de medidas de controle, deve-se buscar a integração com sistema tradicional existente. Andrade Filho e colaboradores (2000) afirma que se deve buscar uma combinação de ações diferentes para conseguir um eficiente planejamento de proteção contra inundações

e seus efeitos, dentre essas ações inclui obras de engenharia e ações de cunho social, econômico e administrativo.

De acordo com a sua natureza de implantação as medidas são classificadas em estruturais e não estruturais. No primeiro caso, estão relacionadas às medidas de controle através de obras hidráulicas, tais como barragens, diques e canalização, entre outras. No segundo caso, encontram-se medidas do tipo preventivo, tais como zoneamento de áreas de inundação, alerta e seguros. Entre as duas medidas as que envolvem mais custos são as estruturais (TUCCI, 1997).

#### *2.2.1.1 Medidas estruturais*

As medidas estruturais correspondem às obras de Engenharia que podem ser implantadas visando à correção ou prevenção dos problemas decorrentes de cheias. Sobre essas medidas, Tucci (2003) afirma que tendem reduzir ou retardar os picos de cheias, e o controle de erosão do solo ao longo da bacia de drenagem, atuando sobre alagamentos mais frequentes.

RIGHETTO et al. (2009, p. 21, 37) relacionam estas medidas às obras de captação, armazenamento e transporte de águas pluviais e enfatizam que estas estruturas detêm e transportam os escoamentos gerados na bacia, além de proporcionar a infiltração localizada. Citam como exemplo, as bacias de retenção, valas de infiltração, bacia de infiltração, pavimentos porosos e filtros orgânicos e de areia.

As medidas estruturais podem ser classificadas como extensivas ou intensivas, sendo que as primeiras agem na bacia, procurando modificar as relações entre a precipitação e vazão, e as segundas que agem nos rios, podendo ser de três tipos: as que aceleram o escoamento, as que retardam o escoamento e as que desviam o escoamento (TUCCI, 2003 p. 64-65).

### 2.2.1.2 Medidas não estruturais

As medidas não estruturais são aquelas que defendem a melhor convivência da população com as inundações e são de caráter preventivo, incluem a previsão e prevenção decorrentes de inundações e alagamentos, reassentamento ou relocação, sistemas de alerta e evacuação, e controle do uso do solo (ANDRADE FILHO e colaboradores, 2000).

As medidas não estruturais buscam reduzir os danos ou as consequências das inundações, não por meio de obras, mas pela introdução de normas, sendo de grande importância a conscientização da população para a manutenção dos dispositivos de drenagem (CANHOLI, 2005, p. 25). A utilização desse tipo de medida em conjunto com as estruturais, ou até mesmo sem, diminui significativamente os prejuízos decorrentes de inundações e alagamentos, com custos menores de implantação (TUCCI, 1997).

RIGHETTO et al. (2009, p. 21) enfatizam que essas medidas exigem esforços de conscientização popular, legislação, fiscalização e ocupação dos espaços urbanos em zonas de riscos e alagamentos, com isso alcançam seus objetivos de forma excelente. Os autores indicam ainda que as referidas ações buscam aumentar o bem estar da população, a qualidade de vida e a estética urbana.

### 2.2.2 Sistema de drenagem da Praça Cesário Alvim

São apresentados, a seguir, com base em Paula (2010) as etapas e conceitos necessários para realizar o dimensionamento das galerias de águas pluviais e a verificação do sistema de drenagem.

Em primeiro lugar é necessário delimitar a bacia de contribuição, ou seja, toda a área que contribuirá com o escoamento para o sistema de drenagem; logo após faz-se o lançamento dos poços de visitas (PV), bocas de lobo, e dos trechos, que correspondem às tubulações que fazem a ligação entre dois poços de visitas.

Em seguida são feitos os cálculos de verificação do sistema de drenagem, começando pela vazão local ( $Q_{Loc}$ ), assim como a vazão total ( $Q_{Tot}$ ) são obtidas pela equação 1.

$$Q = C \cdot i \cdot A \quad (1)$$

na qual,

$Q$  é a vazão ( $m^3/s$ );

$C$  é o coeficiente de runoff;

$i$  é a intensidade pluviométrica ( $m/s$ );

$A$  é a Área ( $m^2$ ).

A vazão no tubo ( $Q_{Tubo}$ ), representa a vazão que o tubo é capaz de conduzir, utiliza-se a equação 2.

$$Q_{Tubo} = 70 \cdot \left( \frac{\pi D^2}{4} \right) \cdot \left( \frac{D}{4} \right)^{2/3} \cdot \sqrt{I} \quad (2)$$

na qual,

$D$  é o diâmetro do tubo (m);

$I$  é a declividade da tubulação (m/m).

Segundo PAULA (2010), a declividade do terreno no trecho ( $St$ ) é obtida pela equação 3.

$$St = \frac{(cm - cj)}{L} \quad (3)$$

na qual,

$St$  é a declividade do terreno em trecho (m/m);

$cm$  é a cota do PV no terreno a montante (m);

$C_j$  é a cota do PV no terreno a jusante (m);

$L$  é a extensão do trecho (m).

A declividade da galeria ( $S_g$ ), é determinada pela equação 4.

$$S_g = \frac{(c_{im} - c_{ij})}{L} \quad (4)$$

na qual,

$S_g$  é a declividade da galeria (m/m);

$C_{im}$  é a cota inferior da galeria montante (m);

$C_{ij}$  é a cota inferior da galeria jusante (m);

$L$  é a extensão do trecho (m).

A constante  $K$  pode ser calculada em função da vazão, coeficiente de Manning, diâmetro e declividade, conforme a equação 5.

$$K = QT_{ot} \cdot n \cdot D^{-8/3} \cdot S_g^{-1/2} \quad (5)$$

na qual,

$Q$  é a vazão ( $m^3/s$ );

$n$  é o coeficiente de Manning ( $m^{-1/3} \cdot s$ );

$D$  é o diâmetro (m);

$S_g$  é a declividade (m/m).

Calculado a constante ( $K$ ), calcula-se o ângulo central da superfície livre através da Equação 6:

$$\theta = 5915,8 \cdot K^5 - 5201,2 \cdot K^4 + 1786,6 \cdot K^3 - 298,89 \cdot K^2 + 32,113 \cdot K + 1,1487 \quad (6)$$

na qual,

$\theta$  é o ângulo central (rad);

$K$  é a constante.

Então, calcula-se a relação altura-diâmetro ( $h/D$ ), pela equação 7.

$$h/D = \frac{1}{2} \cdot \left[ 1 - \cos\left(\frac{\theta}{2}\right) \right] \quad (7)$$

na qual,

$\theta$  é o ângulo central (°)

Através da equação 8 determina-se a área molhada:

$$A = D^2 \cdot \frac{(\theta - \text{sen}(\theta))}{8} \quad (8)$$

Com a vazão ( $Q$ ) no trecho e a área molhada ( $A$ ), calculamos a velocidade de escoamento ( $V$ ) através da equação 9.

$$V = \frac{Q}{A} \quad (9)$$

na qual,

$V$  é a velocidade do escoamento (m/s);

$Q$  é a vazão (m<sup>3</sup>/s);

$A$  é a área molhada ( $m^3$ ).

Por fim calculamos o tempo do percurso ( $tp$ ), que corresponde a razão entre a velocidade de escoamento ( $V$ ) e a extensão da galeria, conforme equação 10

$$tp = \frac{L}{(V \cdot 60)} \quad (10)$$

Segundo GUIMARÃES, FERREIRA (2015), o sistema atual de drenagem da Praça Cesário Alvim não suporta a vazão nos períodos de cheias, foi necessário o redimensionamento dos dutos de escoamento, usando o modelo de planilha para cálculo de galerias de águas pluviais, conforme Figura 4.

**Figura 4** - Modelo de planilha para cálculo de galerias de águas pluviais

### CÁLCULO DE GALERIAS DE ÁGUAS PLUVIAIS

Tabela – Planilha para cálculo de galerias de águas pluviais

Trecho	Ext.	Área ( $m^2$ )		tc	C	i	Qloc	Q	D	Cota do PV no terreno (m)		St	Cotas inf. galeria(m)		Sg	Prof. galeria (m)	
		Trecho	Total							mont.	Jus.		mont.	jus.		mont.	jus.

$$k = Q n D^{-8/3} Sg^{-1/2}$$

k	$\theta$ (rad)	$h/D$	$A_m$	V	$tp$

Análise

$$\theta = 5915,8.k^5 - 5201,2.k^4 + 1786,6.k^3 - 298,89.k^2 + 32,113.k + 1,1487$$

Fonte: Paula, 2010

Segundo GUIMARÃES, FERREIRA (2015) foi usado o valor para  $C = 0,85$  retirado da tabela de coeficiente de runoff  $C$ , já que a bacia é constituída em sua maior parte por casas e vias asfaltadas e para  $i$  (intensidade de precipitação) foi adotado  $i = 60 \text{ mm/h}$ .

Para realizar a verificação foram utilizadas as equações apresentadas acima, que apresentaram os resultados expressos nos Quadros 1 e 2.

**Quadro 1** - Galerias de transporte de vazão da área entorno da rua Nestor leite de Mattos

Trecho	Ext (m)	Área (m <sup>2</sup> )		C	i(mm/min)	Q Loc (m <sup>3</sup> /s)
		Trecho	Total			
BL 1 – PV 1	9,50	194.761,94	194.761,94	0,85	1,00	2,7591
PV 1 – BL 2	6,00	5.788,33	200.550,27	0,85	1,00	0,082
BL 2 – BL 3	36,00	5.473,73	206.024,00	0,85	1,00	0,0775
BL 3 – BL 4	22,00	26.112,75	232.136,75	0,85	1,00	0,3699
BL 4 – BL 5	25,00	16.598,64	248.735,39	0,85	1,00	0,2351
BL 5 – PV 2	43,00	16.420,38	265.155,77	0,85	1,00	0,2326
PV 2 – PV 3	45,00	32.525,22	297.690,99	0,85	1,00	0,4609
PV 3 – Lanç.	47,00	80.369,96	378.060,95	0,85	1,00	1,1386
Qtot(m <sup>3</sup> /s)	Qtubo(m <sup>3</sup> /s)	D(mm)	Cota do PV no terreno (m)		St (m/m)	
			Mont.	Jus.		
2,7591	0,5865	700	590,715	590,769	-0,0057	
2,8411	1,4362	1000	590,769	590,782	-0,0022	
2,9187	1,4949	1000	590,782	590,566	0,0060	
3,2886	1,4856	1000	590,566	590,402	0,0075	
3,5238	1,4926	1000	590,402	590,294	0,0043	
3,7564	1,4991	1000	590,294	590,15	0,0033	
4,2173	2,309	1000	590,15	590,284	-0,0030	
5,3559	2,7487	1000	590,284	590,596	-0,0066	
Cota inf. da galeria (m)		Sg (m/m)	Prof. Galeria (m)		k	
Mont.	Jus.		Mont.	Jus.		
589,115	589,069	0,0048	1,600	1,700	1,53964	
588,763	588,737	0,0043	2,006	2,045	0,64740	
588,737	588,568	0,0047	2,045	1,998	0,63898	
588,568	588,466	0,0046	1,998	1,936	0,72446	
588,466	588,349	0,0047	1,936	1,945	0,77263	
588,349	588,146	0,0047	1,945	2,004	0,82006	
588,146	587,642	0,0112	2,004	2,642	0,59774	
587,642	586,896	0,0159	2,642	3,700	0,63768	

Fonte: Guimaraes, Ferreira, 2015

## Continuação - Quadro 1

$\theta$ (rad)	$\theta$ (°)	h/D	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	tp (min)
27.816,4769	1.593.766,7280	0,9590	1.703,7146	0,0016	97,7682
140,5489	8.052,8575	0,3001	17,4770	0,1626	0,6151
128,8300	7.381,4170	0,5062	16,1068	0,1812	3,3111
294,6893	16.884,4526	0,9761	36,9088	0,0891	4,1152
446,9023	25.605,6151	0,9609	55,7735	0,0632	6,5949
653,5375	37.444,9398	0,0005	81,6814	0,0460	15,5837
82,5554	4.730,0767	0,9530	10,2236	0,4125	1,8182
127,0959	7.282,0587	0,1228	15,7632	0,3398	2,3055

Fonte: Guimaraes, Ferreira, 2015

**Quadro 2 - Galerias de transporte de vazão da Rua João Pinheiro à Avenida Benedito Valadares**

Trecho	Ext (m)	Área (m <sup>2</sup> )		C	i(mm/min)	Q Loc (m <sup>3</sup> /s)
		Trecho	Total			
PV 4 - PV 5	58,70	47.398,55	47.398,55	0,85	1,00	0,6715
BL 14 - PV 6	21,55	10.191,09	10.191,09	0,85	1,00	0,1444
PV 6 - PV 7	28,20	2.523,74	12.714,83	0,85	1,00	0,0358
PV 7 - PV 8	44,30	3.672,57	16.387,40	0,85	1,00	0,052
PV 8 - PV 5	97,50	5.551,34	21.938,74	0,85	1,00	0,0786
PV 5 - PV 9	44,00	20.334,59	89.671,88	0,85	1,00	0,2881
PV 9 - Lanç.	8,30	*	89.671,88	0,85	1,00	*
Qtot(m <sup>3</sup> /s)	Qtubo(m <sup>3</sup> /s)	D(mm)	Cota do PV no terreno (m)		St (m/m)	
			Mont.	Jus.		
0,6715	1,5855	800	591,171	589,551	0,0276	
0,1444	0,0876	400	589,858	589,732	0,0058	
0,1801	0,0723	400	589,732	589,771	-0,0014	
0,2322	0,0238	400	589,771	589,764	0,0002	
0,3108	0,7832	800	589,764	589,551	0,0022	
1,2704	0,4834	800	589,551	589,480	0,0016	
1,2704	1,1683	1200	589,480	589,471	0,0011	
Cota inf. da galeria (m)		Sg (m/m)	Prof. Galeria (m)		k	
Mont.	Jus.		Mont.	Jus.		
589,170	588,151	0,0174	2,000	1,400	0,13861	
589,058	589,012	0,0021	0,800	0,720	0,53963	
589,012	588,971	0,0015	0,720	0,800	0,81578	
588,971	588,964	0,0002	0,800	0,800	3,18930	
588,564	588,151	0,0042	1,200	1,400	0,12987	
588,151	588,080	0,0016	1,400	1,400	0,86008	
587,680	587,671	0,0011	1,800	1,800	0,35586	

Fonte: Guimaraes, Ferreira, 2015

Continuação - Quadro 2

$\theta$ (rad)	$\theta$ (°)	h/D	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	tp (min)
2,9980	171,7716	0,4641	0,2284	2,9401	0,3328
41,8427	2.397,4074	0,7401	0,8537	0,1691	2,1238
632,2267	36.223,9187	0,6870	12,6584	0,0142	33,0292
1.468.938,0956	84.163.953,2424	0,8634	29.378,7819	0,0000	93434,7721
2,9305	167,9039	0,4473	0,2177	1,4278	1,1381
882,4551	50.560,9538	0,4173	70,5703	0,0180	40,7380
5,5891	320,2330	0,9702	1,1212	1,1330	0,1221

Fonte: Guimaraes, Ferreira, 2015

O Quadro 1 é referente à galeria responsável por transportar a vazão vinda da área entorno da rua Nestor Leite de Mattos, e o Quadro 2 é a verificação da rede que vem da Rua João Pinheiro e segue pela Avenida Benedito Valadares (GUIMARÃES, FERREIRA, 2015).

#### 2.2.2.1 Análise das tabelas

GUIMARÃES, FERREIRA (2015) afirma que nos Quadros 1 e 2, a vazão solicitante é maior que a vazão suportada pelo tubo na maioria dos trechos. Foi adotada uma lamina d'água de diâmetro como  $0,20 < h/D < 0,95$  e a velocidade como  $0,75\text{m/s} < v < 5,00\text{m/s}$  no anteprojeto, foi avaliado que na maioria dos trechos não atenderam aos valores fixados. Na verificação da velocidade no Quadro 1 todos os trechos não atenderam as exigências, e no Quadro 2, apenas alguns trechos atenderam a velocidade mínima, ou seja, velocidade de auto limpeza, sendo eles PV 4 - PV 5, PV 8 - PV 5 e PV 9 - Lanç.

Com os resultados negativos, foram apresentadas os Quadros 3 e 4 com a correção dos diâmetros, onde foi realizado o redimensionamento fazendo-se relação entre os Quadros 1 com 3. O diâmetro do trecho BL 1 - PV 1, que era de 700 mm, passou a ser de 1500 mm, os demais trechos que antes tinham o diâmetro de 1000 mm passaram a ter 1500 mm. Em relação os Quadros 2 e 4, os diâmetros de 400 mm, foram substituídos por diâmetros de 600 mm, 800 mm e 1200 mm nos trechos: BL 14 - PV6, PV 6 - PV 7 e PV 7 - PV 8. Os trechos PV 8 - PV 5 e PV 5 - PV 9 que

possuem diâmetro de 800 mm, o diâmetro necessário nesses intervalos é de 1200 mm, e o trecho final que tem 1200 mm de diâmetro, precisa de galerias de 1500 mm. A relação lamina d'água ficou no limite permitido no Quadro 4, teve um problema com a velocidade no trecho PV 7 - PV 8, que ficou abaixo de 0,75m/s, que a única solução encontrada seria alterar a declividade da galeria ou trabalhar com galeria retangular (GUIMARÃES, FERREIRA, 2015).

**Quadro 3 - Correção dos Diâmetros das galerias de transporte de vazão da área em torno da rua Nestor Leite de Mattos**

Trecho	Ext (m)	Área (m <sup>2</sup> )		C	i(mm/min)	Q Loc (m <sup>3</sup> /s)
		Trecho	Total			
BL 1 – PV 1	9,50	194.761,94	194.761,94	0,85	1,00	2,7591
PV 1 – BL 2	6,00	5.788,33	200.550,27	0,85	1,00	0,082
BL 2 – BL 3	36,00	5.473,73	206.024,00	0,85	1,00	0,0775
BL 3 – BL 4	22,00	26.112,75	232.136,75	0,85	1,00	0,3699
BL 4 – BL 5	25,00	16.598,64	248.735,39	0,85	1,00	0,2351
BL 5 – PV 2	43,00	16.420,38	265.155,77	0,85	1,00	0,2326
PV 2 – PV 3	45,00	32.525,22	297.690,99	0,85	1,00	0,4609
PV 3 – Lanc.	47,00	80.369,96	378.060,95	0,85	1,00	1,1386
Qtot(m <sup>3</sup> /s)	Qtubo(m <sup>3</sup> /s)	D(mm)	Cota do PV no terreno (m)		St (m/m)	
			Mont.	Jus.		
2,7591	4,4762	1500	590,715	590,769	-0,0057	
2,8411	4,2345	1500	590,769	590,782	-0,0022	
2,9187	4,4074	1500	590,782	590,566	0,0060	
3,2886	4,3801	1500	590,566	590,402	0,0075	
3,5238	4,4006	1500	590,402	590,294	0,0043	
3,7564	4,4198	1500	590,294	590,15	0,0033	
4,2173	6,8077	1500	590,15	590,284	-0,0030	
5,3559	8,1042	1500	590,284	590,596	-0,0066	
Cota inf. da galeria (m)		Sg (m/m)	Prof. Galeria (m)		k	
Mont.	Jus.		Mont.	Jus.		
589,115	589,069	0,0048	1,600	1,700	1,53964	
588,763	588,737	0,0043	2,006	2,045	0,64740	
588,737	588,568	0,0047	2,045	1,998	0,63898	
588,568	588,466	0,0046	1,998	1,936	0,72446	
588,466	588,349	0,0047	1,936	1,945	0,77263	
588,349	588,146	0,0047	1,945	2,004	0,82006	
588,146	587,642	0,0112	2,004	2,642	0,59774	
587,642	586,896	0,0159	2,642	3,700	0,63768	

Fonte: Guimaraes, Ferreira, 2015

## Continuação- quadro 3

$\theta$ (rad)	$\theta$ (°)	h/D	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	tp (min)
3,4932	200,1447	0,5874	1,0793	2,5564	0,0619
3,6324	208,1214	0,6215	1,1542	2,4616	0,0406
3,6102	206,8484	0,6161	1,1424	2,5549	0,2348
3,8374	219,8657	0,6705	1,2595	2,6110	0,1404
3,9726	227,6120	0,7018	1,3250	2,6594	0,1567
4,1202	236,0681	0,7350	1,3922	2,6983	0,2656
3,5011	200,5978	0,5894	1,0836	3,8918	0,1927
3,6068	206,6518	0,6152	1,1406	4,6958	0,1668

Fonte: Guimaraes, Ferreira, 2015

**Quadro 4 - Correção dos diâmetros das galerias de transporte de vazão da Rua João Pinheiro à Avenida Benedito Valadares**

Trecho	Ext (m)	Área (m <sup>2</sup> )		C	i(mm/min)	Q Loc (m <sup>3</sup> /s)
		Trecho	Total			
PV 4 - PV 5	58,70	47.398,55	47.398,55	0,85	1,00	0,6715
BL 14 - PV 6	21,55	10.191,09	10.191,09	0,85	1,00	0,1444
PV 6 - PV 7	28,20	2.523,74	12.714,83	0,85	1,00	0,0358
PV 7 - PV 8	44,30	3.672,57	16.387,40	0,85	1,00	0,052
PV 8 - PV 5	97,50	5.551,34	21.938,74	0,85	1,00	0,0786
PV 5 - PV 9	44,00	20.334,59	89.671,88	0,85	1,00	0,2881
PV 9 - Lanc.	8,30	*	89.671,88	0,85	1,00	*
Qtot(m <sup>3</sup> /s)	Qtubo(m <sup>3</sup> /s)	D(mm)	Cota do PV no terreno (m)		St (m/m)	
			Mont.	Jus.		
0,6715	1,5855	800	591,171	589,551	0,0276	
0,1444	0,2582	600	589,858	589,732	0,0058	
0,1801	0,4588	800	589,732	589,771	-0,0014	
0,2322	0,4460	1200	589,771	589,764	0,0002	
0,3108	2,3091	1200	589,764	589,551	0,0022	
1,2704	1,4252	1200	589,551	589,480	0,0016	
1,2704	2,1182	1200	589,480	589,471	0,0011	
Cota inf. da galeria (m)		Sg (m/m)	Prof. Galeria (m)		k	
Mont.	Jus.		Mont.	Jus.		
589,170	588,151	0,0174	2,000	1,400	0,13861	
589,058	589,012	0,0021	0,800	0,720	0,18303	
589,012	588,971	0,0015	0,720	0,800	0,12848	
588,971	588,964	0,0002	0,800	0,800	0,17036	
588,564	588,151	0,0042	1,200	1,400	0,04405	
588,151	588,080	0,0016	1,400	1,400	0,29172	
587,680	587,671	0,0011	1,800	1,800	0,19627	

Fonte: Guimaraes, Ferreira, 2015

## Continuação – quadro 4

$\theta$ (rad)	$\theta$ (°)	h/D	A (m <sup>2</sup> )	V (m/s)	tp (min)
2,9980	171,7716	0,4641	0,2284	2,9401	0,3328
3,3462	191,7211	0,5511	0,1597	0,9039	0,3973
2,9197	167,2860	0,4446	0,2160	0,8340	0,5635
3,2463	185,9975	0,5262	0,6031	0,3849	1,9182
2,1174	121,3193	0,2550	0,2274	1,3670	1,1888
4,2647	244,3520	0,7663	0,9299	1,3661	0,5368
3,4504	197,6925	0,5769	1,0559	1,2031	0,1150

Fonte: Guimaraes, Ferreira, 2015

GUIMARÃES, FERREIRA (2015) trata como solucionado os problemas do sistema de drenagem pluvial atual, realizando o redimensionamento da rede, e adoção de tubos circulares. Considerando que é necessário ter dados precisos referentes a declividades e contornos da bacia hidrografia, que seja realizado por uma equipe preparada e clara manutenção e limpeza para que o sistema funcione adequadamente, evitando prejuízos e transtornos para população.

### 2.3 Pavimentos permeáveis

Os pavimentos permeáveis promovem a infiltração, armazenamento e percolação de parte ou da totalidade da água provinda do escoamento superficial para dentro de uma camada de armazenamento temporário no terreno, a qual é absorvida gradualmente pelo solo (COSTA e colaboradores, 2007).

Os pavimentos permeáveis podem ser de concreto ou asfalto poroso, que são constituídos da mesma forma que os pavimentos tradicionais, se diferenciando pela retirada do material fino da mistura. Além dessas superfícies, existem também os pavimentos de blocos de concreto vazados e uma variedade de outros, que podem ser utilizados em grande parte das superfícies urbanas, tais como calçadas, estacionamentos, praças, parques, áreas externas, e ruas de tráfego leve (TUCCI, 1997).

É recente a utilização da técnica de pavimentos permeáveis, a concepção de pavimentos antes contemplava a impermeabilização total da superfície. Foi a partir

de 1970, que iniciaram os estudos experimentais na América do Norte e Europa, devido à necessidade de soluções para os problemas hidrológicos acarretados pelo intenso desenvolvimento urbano, e a partir dos anos 1980 teve início a sua utilização operacional (VIRGILIS, 2009).

Segundo Acioli (2005), pelo menos três fatores são significativos para a aplicação do pavimento permeável:

- Os problemas de infiltração devido a crescente urbanização, exigindo estudos e desenvolvimento de soluções que possam contribuir a drenagem visando mitigação das enchentes;
- A aplicação em rodovias, com objetivo de reduzir o efeito de aquaplanagem e “spray” em dias chuvosos garantindo maior segurança e dirigibilidade;
- Reduzir o nível de ruídos, pois a aplicação desse tipo revestimento permite que o som penetre pelos vazios levando a redução da emissão de ondas sonoras.

Segundo Tomaz (2009), o uso do pavimento permeável só não é recomendável para locais que possuam o lençol freático elevado, locais com baixa permeabilidade do solo, ou em locais com uma camada impermeável que não permita a infiltração. É preferível optar pela construção de reservatórios de detenção ou retenção nesses locais. Em solos com taxa de infiltração superior a 7mm/h, que no período chuvoso o nível do lençol freático ou camada impermeável esteja a pelo menos 1,2m abaixo da superfície o pavimento permeável será viável.

Existem vários tipos de revestimentos que podem ser considerados permeáveis. Os mais comuns são os blocos de concreto, que podem ser vazados ou não, e o revestimento poroso, também conhecido como camada porosa de atrito (CPA). O revestimento permeável é aquele que possibilita a penetração da água entre ele, mesmo seu material de fabricação não sendo necessariamente poroso, já o revestimento poroso é aquele que permite que a água penetre entre seus poros (PINTO, 2011).

### 2.3.1 Breve histórico de pavimentos permeáveis no Brasil

No Brasil têm sido desenvolvidos trabalhos buscando o estudo de pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial, principalmente na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

O trabalho apresentado por Acioli (2005), que foi desenvolvido nas dependências do Instituto de Pesquisas Hidráulicas, na Universidade Federal do Rio Grande do Sul, propôs a construção de um estacionamento de 264 m<sup>2</sup>, sendo dividido em duas partes com as mesmas áreas, sendo em que uma área foi implantada o revestimento de blocos vazados, preenchidos com grama e areia, e na outra parte o asfalto poroso. Foi medida a precipitação, as vazões de escoamento superficial, e o armazenamento no reservatório sob o pavimento permeável além de serem avaliados alguns parâmetros qualitativos da água de escoamento superficial e infiltrado. O experimento apresentou resultados satisfatórios com o monitoramento realizado, e bom desempenho hidráulico dos pavimentos, os valores de escoamento obtidos foram baixos para as duas áreas, e os armazenamentos máximos e tempos de esvaziamento ficaram abaixo do que o previsto.

VIRGILIS (2009), apresentou um projeto da construção de um estacionamento nas dependências do Centro Tecnológico de Hidráulica (CTH), da Universidade de São Paulo (USP), com 1600 m<sup>2</sup>, que foi dividido em duas partes, de um lado foi feito um sistema de drenagem com asfalto permeável, e do outro foram usados blocos intertravados de concreto poroso. O projeto apresentou eficiência no escoamento superficial, devido aos aspectos importantes do pavimento a ser projetado e construído como: as escolhas dos tipos de revestimentos drenantes, a capacidade do reservatório, a capacidade estrutural para suportar as cargas de tráfego previsto, e para evitar a infiltração da água para o subleito a impermeabilização do fundo.

CASTRO (2011), realizou novas medidas quali-quantitativas nos pavimentos implantados nas dependências do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS, e verificou que o pavimento de blocos vazados continuava fazendo o controle do escoamento superficial adequadamente, já a camada de asfalto poroso não apresentava boa capacidade de infiltração e estava bastante comprometido, podendo ser por diversos fatores, tais como: características da chuva (intensidade e duração), condições da umidade inicial do pavimento, frequência da precipitação e a colmatação do pavimento, sugerindo uma nova análise das camadas de

pavimento poroso, bem como manutenções periódicas para conservar as características de porosidade do revestimento.

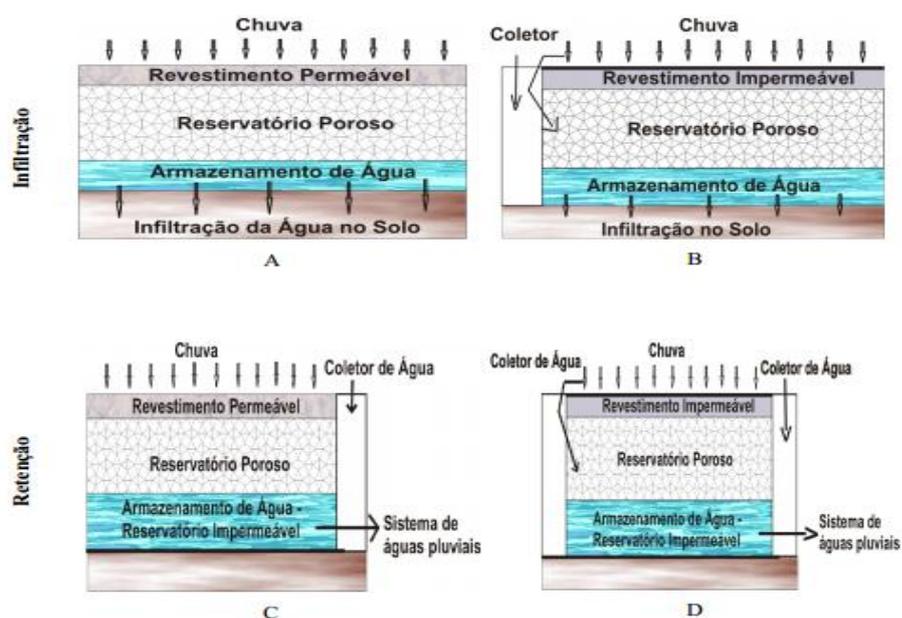
### 2.3.2 Tipos de pavimentos permeáveis

Segundo Pinto (2011), em uma primeira abordagem os pavimentos permeáveis podem ser divididos em dois tipos, são eles:

- *Infiltrantes*: quando a água provinda de chuvas penetra na camada do pavimento e se infiltra na camada de subleito.
- *Armazenadores*: quando a água provinda de precipitação é despejada na micro drenagem por meios de condutos, após ficar retida dentro de um reservatório.

Como podemos ver na Figura 5 os pavimentos permeáveis se caracterizam em quatro tipos, podendo ter a função de infiltração ou armazenamento e podepossuir revestimento drenante ou impermeável AZZOUT ET. AL, 1994 apud PINTO, (2011,p.31).

**Figura 5 - Tipos de pavimentos permeáveis – Revestimento x Função**



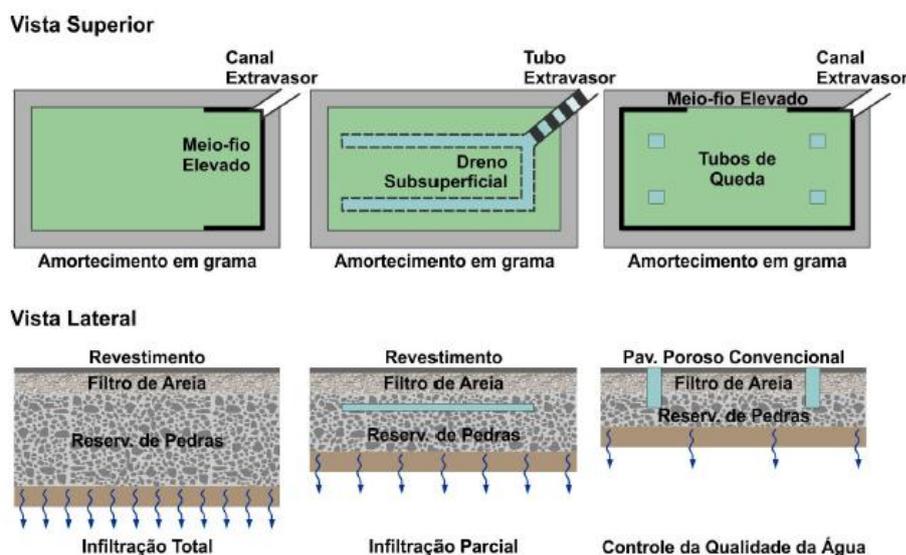
Fonte: Adaptado de Azzout et al, 1994 e Pinto, 2011p.31

### 2.3.2.1 Pavimentos voltados para infiltração

Segundo Pinto (2011), o projeto de pavimentos permeáveis pode se encaixar em três categorias básicas como mostra na Figura 6, são elas:

- *Sistemas de infiltração total:* onde o único meio de saída é através da infiltração do solo. O dimensionamento da camada granular do reservatório deve ser suficiente para absorver o volume total da chuva e a porcentagem de água que é infiltrada;
- *Sistema de infiltração parcial:* nesse sistema uma parcela infiltra no solo e a outra é coletada em um sistema de drenagem auxiliar. Quando o solo do subleito não possui boa taxa de infiltração é necessária à implantação de um sistema auxiliar de drenagem, que deve ser dimensionado para chuvas de dois em dois anos;
- *Sistema de infiltração para controle da qualidade da água:* este sistema é dimensionado para armazenar o volume inicial do escoamento superficial que traz uma maior concentração de poluentes. Em virtude disso, o reservatório para controle de qualidade de água tem menores custos de implantação, pois necessita de uma capacidade de armazenamento menor.

**Figura 6** - Sistemas de pavimentos permeáveis com infiltração



Fonte: adaptado de Schuler, 1987

### 2.3.2.2 Pavimentos voltados para retenção e armazenamento

Segundo Virgilis (2009), podem ser identificados três níveis diferentes de atuação dos pavimentos permeáveis ou porosos no controle da produção de escoamento superficial.

- *Pavimentos com revestimento superficial permeável*: reduzem a velocidade do escoamento superficial, e retêm temporariamente pequenos volumes de água em sua própria superfície, permitindo a infiltração de parte da água pluvial para as camadas inferiores;
- *Pavimentos dotados de estrutura porosa*: onde as águas pluviais são detidas temporariamente no reservatório, provocando assim o amortecimento de vazões e alteração no desenvolvimento temporal nos hidrogramas;
- *Pavimentos com estrutura porosa e de dispositivos de facilitação da infiltração*: onde ocorre a retenção temporária das águas pluviais e também infiltração de parte delas.

O emprego de pavimentos com superfícies permeáveis, apenas reduzem o escoamento superficial, minimizando o efeito de “spray” e aquaplanagem. Porém, com adoção de uma estrutura de pavimento porosa na base e sub-base, como, por exemplo, o emprego de BGS (brita graduada simples) de graduação aberta, melhora significativamente o controle de escoamento e picos de cheias em zonas urbanas (VIRGILIS, 2009).

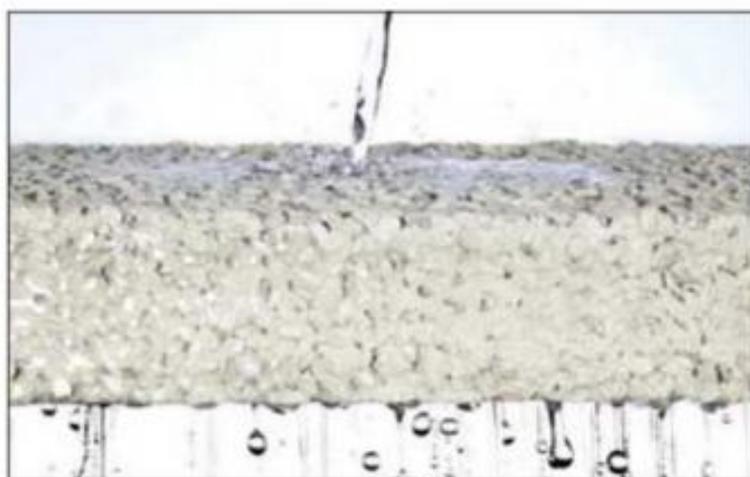
## 2.4 Tipos de materiais usados como revestimentos permeáveis

Segundo Virgilis (2009) e Gonçalves, Oliveira (2014), os revestimentos permeáveis podem ser classificados de acordo com seus materiais.

### 2.4.1 Concreto Poroso

Ao contrário do concreto convencional o concreto poroso é formado pela retirada da fração de agregado fino da mistura, resultando em um pavimento com índice de 15 a 25% de vazios (Figura 7). Ele apresenta menor resistência à compressão que o concreto comum, sendo indicado para locais de baixo tráfego como em calçadas, estacionamentos e ruas residenciais. Quando acabado o concreto poroso, tem grande permeabilidade (GONÇALVES, OLIVEIRA 2014).

**Figura 7** - Demonstração de permeabilidade do Concreto poroso



Fonte : Gonçalves, Oliveira, 2014, p. 3

### 2.4.2 Blocos de concreto vazados

Como o nome diz, são blocos de concreto vazados, assentados sobre material granular, como areia, e preenchidos com vegetação rasteira, como grama (Figura 8). Para prevenir o carregamento de areia fina para as camadas granulares inferiores é importante colocar filtros geotêxteis, sob a camada. A maior parte desse tipo de pavimento é capaz de suportar bem a carregamentos pesados (GONÇALVES, OLIVEIRA, 2014).

**Figura 8** - Blocos vazados preenchidos com grama



Fonte : Gonçalves, Oliveira, 2014, p. 3

#### 2.4.3 Blocos intertravados de concreto

Os blocos intertravados de concreto também possuem permeabilidade, sua permeabilidade depende do bloco de concreto em si e da granulometria do material de assentamento e das juntas (Figura 9). Muitos blocos possuem boa durabilidade e resistência a compressão, permitindo uma vida útil mais longa. Alguns blocos são capazes de suportar até mesmo o tráfego pesado, porém são relativamente caros quando comparados a outros pavimentos (VIRGILIS, 2009).

**Figura 9** - Blocos de concretos intertravados assentados sobre um berço de areia



Fonte: Virgilis, 2009, p. 47

#### 2.4.4 Concreto asfáltico poroso

O concreto asfáltico poroso é uma variação do asfalto convencional, com propriedade permeável, tendo um índice de vazios entre 18 a 25% (Figura 10). A fim de aumentar a vida útil do concreto asfáltico poroso, muitos departamentos de estradas de rodagem na Europa e Estados Unidos têm desenvolvido tecnologias para estabilizar o ligante betuminoso. A utilização dessas camadas de pavimento permeável deve atender as necessidades de rodovias bem drenadas, seguras e com boa aderência, porém está sujeito a colmatação, por meio de impurezas que o atingem, portanto necessita de manutenção adequada (VIRGILIS, 2009).

Segundo Virgilis (2009), os pavimentos porosos e convencionais são constituídos basicamente pelos mesmos componentes, porém cada pavimento deve ter uma combinação específica que possa atender suas necessidades. O Quadro 5 mostra alguns tipos de componentes usados na pavimentação.

**Figura 10** - Concreto asfáltico poroso



Fonte: Virgilis, 2009, p. 48

**Quadro 5 - Principais camadas do pavimento permeável**

<b>Terminologia aplicada a Pavimentos Porosos</b>	
<b>Terminologia</b>	<b>Definição</b>
Camada de Base	Camada colocada abaixo da superfície de revestimento para aumenta a espessura do pavimento. Pode ser simplesmente chamada de Base.
Camada	Espaço ocupado entre dois tipos de materiais na estrutura do pavimento.
Camada Filtrante	Qualquer camada entre outras ou entre o pavimento e o subleito que detenha a migração de partículas para os vazios da camada subjacente.
Geomembrana	Tecido impermeável geralmente plástico ou Polietileno de Alta Densidade (PEAD) utilizada em sistemas impermeabilizantes.
Geotextil	Manta não-tecida de filamentos de polipropileno que possibilita a livre passagem das águas de infiltração para o meio drenante.
Pavimento	Qualquer tratamento ou cobertura na superfície que suporte qualquer tipo de tráfego.
Sobrecamada	Camada aplicada sobre qualquer tipo de pavimento preexistente
Estrutura do Pavimento	Combinação de camadas de materiais colocadas sobre o subleito que possibilitam o suporte mecânico do pavimento.
Reservatório	Qualquer parte do pavimento com capacidade de estocagem o condutividade de água. O reservatório pode ser sobreposto ou combinado com outras camadas do pavimento. Também chamado de Reservatório de Base, Camada Drenante ou Colchão drenante.
Sub-base	Camada colocada abaixo da Base a fim de aumentar a espessura do pavimento.
Subleito	Solo natural ou reforçado abaixo da estrutura do pavimento, responsável pela absorção em última instância dos carregamentos.
Revestimento	Camada do pavimento que recebe diretamente a carga de tráfego.

Fonte: Virgilis, 2009, p. 33

## 2.5 Camada porosa de atrito (CPA)

As misturas asfálticas de granulometria abertas do tipo CPA (Camada Porosa de Atrito), foi introduzida no Brasil no final da década de 90, consiste em um revestimento de mistura descontínua e aberta, devido a uma grande porcentagem de vazios que possui (JUNIOR, 2011, p.22).

A camada porosa de atrito consegue manter uma grande porcentagem de vazios graças às pequenas quantidades de fíler, de agregado miúdo e de ligante asfáltico.

Como podemos observar através da Figura 11, esse revestimento tem uma grande capacidade drenante, podendo coletar a água da chuva de sua superfície e

transferindo-a entre os seus vazios, promovendo assim uma rápida percolação da mesma, até a água alcançar as sarjetas. Essas misturas asfálticas a quente possuem normalmente de 18% a 25% de vazios (BERNUCCI e colaboradores, 2008, p.165).

**Figura 11** - Demonstração da permeabilidade da CPA



Fonte: TOMAZ, 2009, p. 60-3

As Figuras 12 e 13 mostram o primeiro trecho pavimentado com concreto asfáltico denso (CA), e no segundo trecho pavimentado com a camada porosa de atrito (CPA), no primeiro trecho percebe-se a presença de água na superfície do pavimento, já no segundo não observa o mesmo, esse tipo de revestimento é considerado permeável, pois é responsável pela coleta de água da chuva para seu interior que é capaz de percolar rapidamente até a chegada das sarjetas (BERNUCCI et al, 2008).

Segundo especificação brasileira do DNER-ES 386/99 é recomendado para o CPA cinco faixas granulométricas, com uma quantidade de ligante asfáltico recomendado para a CPA de 4,0 a 6,0%, porém, essa quantidade depende do tipo de agregado, forma, natureza, viscosidade e do tipo de ligante ficando em torno de 3,5 a 4,5%. A espessura da camada de CPA deve ter de 3,0 a 4,0 cm, conforme a Tabela 2.

**Figura 12** - Trecho de pavimentado com CA, seguido por CPA



Fonte: BERNUCCI et al, 2008, p.166

**Figura 13** - Trecho pavimentado com CPA na Bahia



Fonte: BERNUCCI et al, 2008, p.166

**Tabela 2** - Faixas granulométricas da camada porosa de atrito

Peneira de malha quadrada		Faixas					
		Porcentagem em massa, passando					
ABNT	Abertura mm	I	II	III	IV	V	Tolerância
¾"	19,0	-	-	-	-	100	-
½"	12,5	100	100	100	100	70-100	±7
3/8"	9,5	80-100	70-100	80-90	70-90	50-80	±7
Nº 4	4,8	20-40	20-40	40-50	15-30	18-30	±5
Nº 10	2,0	12-20	5-20	10-18	10-22	10-22	±5
Nº 40	0,42	8-14	-	6-12	6-13	6-13	±5
Nº 80	0,18	-	2-8	-	-	-	±3
Nº 200	0,075	3-5	0-4	3-6	3-6	3-6	±2
Ligante modificado por polímero, %		4,0-6,0					±0,3
Espessura da camada acabada, cm		3,0		≤ 4,0			
Volume de vazios, %		18-25					
Ensaio Cântabro, % máx.		25					
Resistência à tração por compressão diametral, a 25°C, MPa, mín.		0,55					

Fonte : BERNUCCI et al, 2008, p.167

### 2.5.1 Permeabilidade da CPA

De acordo com Virgilis (2009), a permeabilidade constitui-se em importante parâmetro para avaliar a capacidade drenante da camada porosa de possibilitar a percolação de água precipitada. No ensaio de permeabilidade realizado no laboratório com amostras de CPA em seu projeto, obteve permeabilidade de 0,4 cm/s, que apresentou drenagem satisfatória.

PINTO (2011) justifica que a permeabilidade do revestimento é muito importante para o sucesso do experimento, pois é responsável pela percolação da água de chuva no meio poroso. Em seu projeto, com realização de ensaios de permeabilidade dos corpos de prova do CPA em laboratórios de pavimentação, encontrou permeabilidade média de 0,16 cm/s, o que resultou em uma drenagem eficiente.

SILVA (2005), fez um estudo sobre a permeabilidade de misturas betuminosas de graduação aberta , onde resultados de permeabilidade obtidos em laboratório da CPA foram 0,13 cm/s, 0,21 cm/s, 0,27 cm/s e 0,34 cm/s, o que apresentou uma adequada condição de drenagem.

Segundo pesquisas realizadas por Silva (2005), a permeabilidade de misturas de graduação aberta variam entre 0,21 a 2,2cm/s, dependendo da composição, granulometria utilizada.

### 2.5.2 Aplicação da CPA

De acordo com Bernucci et al. (2008), os pavimentos com revestimento CPA, devem ter sua camada inferior necessariamente impermeável para evitar a entrada de água no interior da estrutura do pavimento e conseqüentemente o contato com o solo compactado de fundação.

O processo de execução da CPA (Figura 14), segundo Zagonel (2013, p.74) são os seguintes:

- Antes de iniciar a construção do CPA, a superfície deve estar limpa;
- As ementas entre as aplicações não devem ser pintadas, para permitir o escoamento superficial;
- A distribuição da mistura na pista deve ser feita através de máquinas vibroacabadora;
- A compactação deve ser executada, utilizando um rolo metálico liso;
- Até seu resfriamento, os revestimentos recém-acabados devem ser mantidos sem tráfego.

**Figura 14** - Execução da camada porosa de atrito – CPA



Fonte : Virgilis (2009, p.147)

### 2.5.3 Vantagens e desvantagens

CASTRO (2005) e Bernucci et al (2008) apresenta algumas vantagens da CPA como:

- Redução da espessura da lâmina d'água na superfície de rolamento e conseqüentemente das distâncias de frenagem;
- Redução do spray proveniente do borrifo de água pelos pneus dos veículos, aumentando assim a distância de visibilidade;
- Redução da reflexão da luz dos faróis noturnos; ao eliminar a película superficial de água, reduz o fenômeno da reflexão das luzes proporcionando maior visibilidade e segurança;
- Redução de ruído, a capacidade de reduzir o nível de ruído esta relacionada, pela percentagem dos vazios, pela distribuição granulométrica, pela disposição dos agregados em sua superfície e pelas características dos agregados;
- Redução do número de acidentes em dias de chuva;
- Maior percepção de sinalização vertical durante a noite;
- Redução dos níveis de "Stress" do usuário.

Segundo Castro (2005), esse tipo de revestimento drenante apresenta algumas desvantagens, como:

- A permeabilidade reduzida - ao longo de sua vida devido à colmatação dos vazios;
- O custo – o custo inicial dessas misturas drenantes pode ser mais elevado, do que em misturas convencionais, pelo fato de serem usados na maioria dos casos ligantes asfálticos modificados por polímeros para melhoria do desempenho;
- A durabilidade – o alto teor de vazio pode favorecer o dano por ação da água, como o desprendimento de agregado no caso de má adesividade entre o agregado e o ligante. Para combater o processo de deterioração é necessário o aumento da espessura do ligante recobrimdo os agregados pelo uso de asfalto modificado por polímero;
- Maior cuidado na construção.

#### 2.5.4 Manutenção

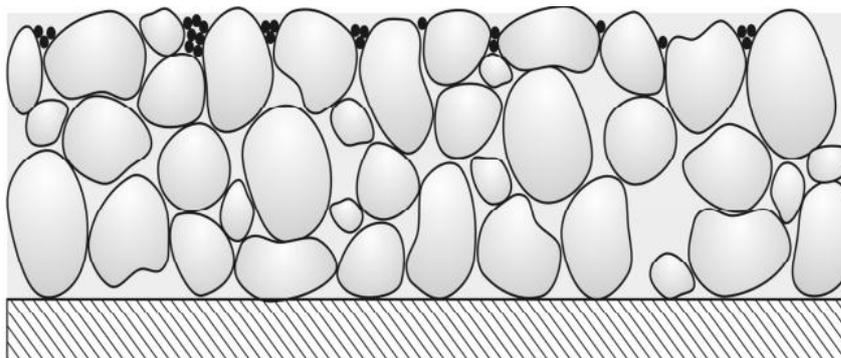
Segundo Silva (2005) a manutenção de revestimentos porosos deve ser constante, devido à poluição ser considerada seu pior inimigo, pois no caso desse revestimento ser constituído de graduação aberta, a poluição penetra nos vazios bloqueando e reduzindo, ou até mesmo anulando a função drenante, e perdendo suas vantagens com relação aos revestimentos convencionais.

A manutenção do revestimento poroso se dá por processos diferentes dos processos de manutenção usuais para revestimentos densos. É um conjunto de operações necessárias para que a mistura conserve, ao longo do tempo, suas características próprias de drenabilidade, absorção de ruídos, absorção de deformações e trincamentos (VIRGILIS, 2009, p.67).

As manutenções devem ser feitas para evitar a colmatação na estrutura. Esse fenômeno é causado pelo acúmulo de partículas nos vazios da camada superior do meio poroso, o que causa a obstrução dos poros, reduzindo a capacidade de infiltração do revestimento (Castro, (2011,p.25)). Conforme vemos na Figura 15.

O tempo de manutenção depende de cada tipo de revestimento, mais em revestimentos drenantes, a manutenção pode iniciar um ano após a sua construção, a superfície estando limpa ou não, podendo em alguns casos a perda da permeabilidade ser recuperada 50% no primeiro ano e com manutenção adequada, podendo recuperar cerca de 70% no segundo ano (RAZ, 1997).

**Figura 15 - Pavimento com superfície colmatada**



Fonte: CASTRO, 2011, p. 25

#### 2.5.5 CPA no Brasil e em outros países

Segundo Bernucci et al (2008), a CPA já vem sendo utilizada no Brasil, tendo destaque nas seguintes obras:

- Rodovia Presidente Dutra, próximo a São Paulo: em 1998, 3km nas três faixas e no acostamento apresentavam condições precárias antes da restauração, com buracos, trincamento generalizado e bombeamento de material da base na superfície. Foi efetuada uma fresagem do revestimento existente ou recomposição do greide da pista com caimento de 3%; executada uma camada de 2 cm de microrrevestimento asfáltico a frio e aplicada uma CPA com 4 cm de espessura;
- Rodovia dos Imigrantes, ligando São Paulo a Santos: em 1998 foi feita uma restauração através de fresagem seguida de recapeamento, com uma espessura de 5 cm entre os quilômetros 11,5 e 30;
- Aeroporto Santos Dumont no Rio de Janeiro: em 1999, foi executado um pavimento superposto, na pista principal, e sobre ele aplicada a CPA nos

923 m centrais. A camada de CPA foi renovada em 2003, nos pontos de maior uso, visto que houve colmatção dos vazios e perda de capacidade drenante ao final de seis anos de uso intenso.

Existe uma aplicação experimental do revestimento CPA, em trechos da região noroeste do Rio Grande do Sul, na BR- 158/386 (Figura 16) e BR-285 (Figura 17), com espessura de 4 e 5 cm ECHEVERRIA, 2010.

**Figura 16 - Revestimento CPA BR-158/386/RS**



Fonte: ECHEVERRIA, 2010

**Figura 17 - Revestimento CPA BR-285/RS**



Fonte : ECHEVERRIA, 2010

CENTRE des RECHERCHES ROUTIÉRES (1988) apud Silva (2005,p.21), afirma que existem duas concepções de misturas drenantes: a concepção europeia e a americana. A primeira propõe misturas com espessura de 4 cm, diâmetro máximo de 14 mm, teor de betume da ordem de 4 a 5% e descontinuidade granulométrica de 2 e 7 mm, já a segunda conhecida como camada de asfalto poroso, é executada em espessuras de 2 cm, com diâmetro máximo igual a 10 mm e um rico teor de betume da ordem 6 a 7%, e descontinuidade granulométrica de 2 mm e 7 mm.

Segundo Brosseaud (2002), na França os revestimentos porosos não tem efeito estrutural, devido sua porosidade elevada 4 cm de revestimento drenante equivale a 2 cm de revestimentos tradicionais e apresentam uma estável composição granulométrica. Estes revestimentos reduzem o ruído de rolamento e eliminam o escoamento superficial nos primeiros anos. Possui granulometria de 10 mm, descontínua 2/6, comportando 10 a 14% de fração areia 0/2, e uma pequena porção de finos de 3 a 4%. A espessura tradicional é de 4 cm, para obter 20 a 22% de vazios e ter eficácia acústica.

No Uruguai, foi construído um trecho experimental com mistura asfáltica porosa com 5 cm de espessura com 21,3% de vazios e 4,5% de ligante modificado por polímero com 70% de recuperação elástica. Foram realizados ensaios “in situ” com um permeâmetro e os ensaios foram satisfatórios (QUIÑONES, 1999).

As principais misturas asfálticas de graduação aberta utilizadas na Europa e Estados Unidos são compostas por asfaltos de alto desempenho, geralmente modificados com polímero SBS, espessuras entre 2,0 e 5,0 cm, elevado índice de vazios, podendo ser superior a 25% e granulometria descontínua (SILVA, 2005).

### 3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do presente trabalho, foi utilizado o método de pesquisa exploratória, tendo em vista que a camada porosa de atrito é normalmente utilizada para reduzir o escoamento superficial em rodovias. Então foi realizada uma pesquisa abrangendo um vasto acervo de publicações nacionais e internacionais, sob forma de livros, artigos científicos, entre outras, as quais deram base para a utilização desta mesma camada em perímetro urbano, como forma de auxiliar na drenagem de águas pluviais sob as ruas que circundam a Praça Cesário Alvim, em Caratinga/MG.

A pesquisa bibliográfica foi realizada utilizando-se de livros, publicações tanto no formato digital, através de artigos disponibilizados pela internet, e acervo de escolas de Engenharia do país, utilizando-se dos principais autores que dissertam a respeito do tema de drenagem, de pavimentos permeáveis, e da camada porosa de atrito. As fontes utilizadas em sua totalidade são fontes secundárias.

Para a realização da coleta dos dados referente à precipitação pluviométrica em Caratinga/MG foi consultado o site do INMET - Instituto Nacional de Meteorologia e o Climate-Data.org, para a análise dos meses e dias de maior índice pluviométrico no ano de 2017.

Para a verificação da capacidade do sistema de drenagem atual da Praça Cesário Alvim, em Caratinga/MG, foi utilizado o método de pesquisa bibliográfica, de onde foram retirados os dados de pesquisas já realizadas na região, e então foi feita a análise do quanto o sistema de drenagem atual suporta em picos de precipitação, se ele se mostra eficiente, ou não, e se foi necessário realizar o redimensionamento dos diâmetros das tubulações.

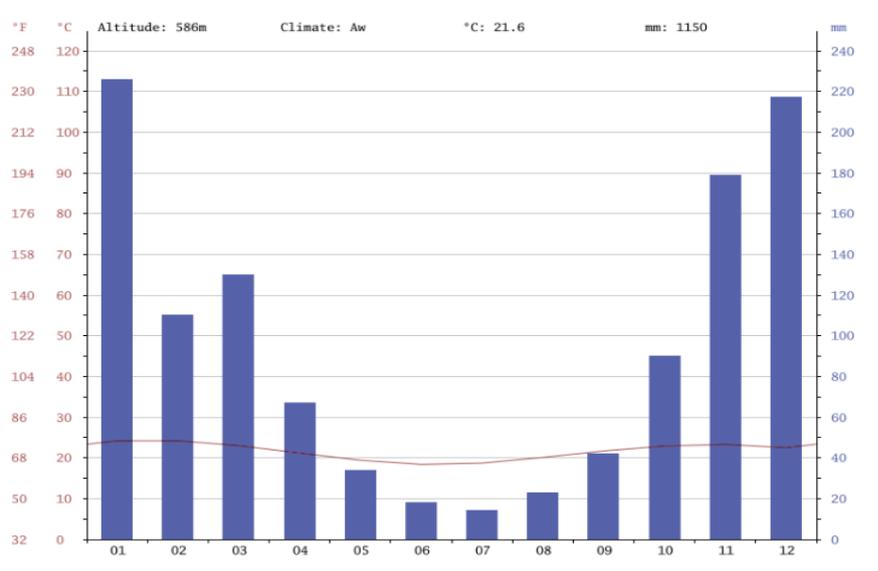
Para a análise da eficiência da Camada Porosa de Atrito (CPA), foram realizados cálculos para definir o volume máximo de água decorrente de precipitação em toda área de contribuição, e a capacidade média de permeabilidade da CPA em sua área de aplicação. Em seguida foi definida a espessura da camada utilizada como tratamento superficial do pavimento flexível já existente nessas ruas.

Os resultados obtidos por esse trabalho serão apresentados de forma qualitativa.

## 4 ESTUDO DE CASO

Caratinga apresenta um clima tropical, sua temperatura média é de 21.6°C, com pluviosidade média anual de 1150 mm, o mês mais seco tem uma diferença de precipitação de 212 mm em relação ao mês mais chuvoso. O mês de julho é o mais seco, com precipitação média de 14 mm, já o mês de janeiro apresenta maior precipitação com média de 226 mm, como mostra os dados da Figura 18 e Tabela 3.

**Figura 18 - Climograma de Caratinga/MG**



Disponível em : <https://pt.climate-data.org/location/24946/>. Acesso 19/10/17 hora 08:42h

**Tabela 3 - Climática de Caratinga/MG**

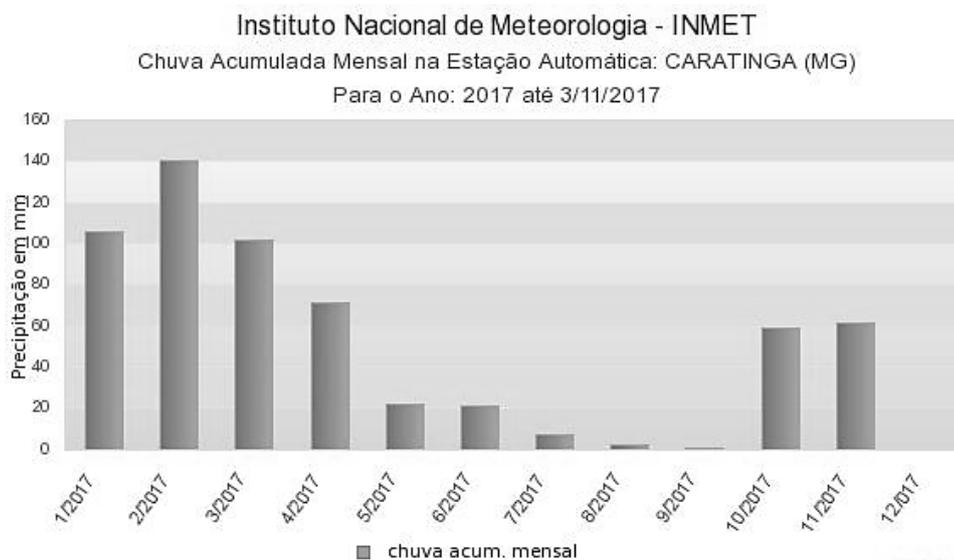
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temperatura média (°C)	24.2	24.2	23	21.2	19.4	18.4	18.7	20.1	21.7	22.9	23.3	22.5
Temperatura mínima (°C)	18.7	18.8	17.5	15.3	12.8	11.4	11.7	13.1	15.7	17.5	18.2	17.1
Temperatura máxima (°C)	29.8	29.7	28.5	27.2	28	25.4	25.8	27.2	27.7	28.4	28.5	27.9
Temperatura média (°F)	75.6	75.6	73.4	70.2	66.9	65.1	65.7	68.2	71.1	73.2	73.9	72.5
Temperatura mínima (°F)	65.7	65.8	63.5	59.5	55.0	52.5	53.1	55.6	60.3	63.5	64.8	62.8
Temperatura máxima (°F)	85.6	85.5	83.3	81.0	78.8	77.7	78.4	81.0	81.9	83.1	83.3	82.2
Chuva (mm)	226	110	130	67	34	18	14	23	42	90	179	217

Disponível em : <https://pt.climate-data.org/location/24946/> acesso 19/10/17 hora 08:42h

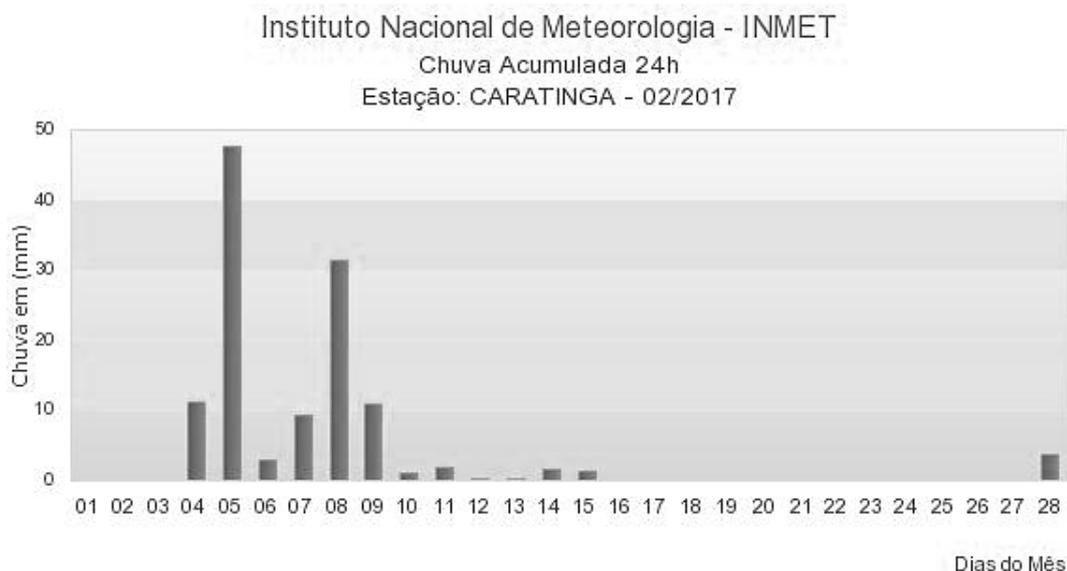
#### 4.1 Dados pluviométricos de Caratinga/MG

A figura 19 representa as precipitações de cada mês do ano de 2017, nele podemos verificar que o mês de fevereiro foi o mês que houve maior precipitação acumulada em 2017, chovendo um total de 139,4 mm. Já na Figura 20 podemos verificar a precipitação em cada dia no mês de fevereiro, onde o dia 05 apresenta um maior volume de chuva, chovendo um total de 54,0 mm, 50% da média do mês de Fevereiro, conforme Quadro 6. Segundo o IGAM – Instituto Mineiro de Gestão das Águas, precipitações superiores a 101 mm podem causar alagamentos na região.

**Figura 19** - Precipitação acumulada mensal em 2017



Disponível em :[http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg\\_iframe.php?codEst=A554&mesAno=2017](http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_iframe.php?codEst=A554&mesAno=2017).  
Acesso 03/11/17. 13:46hr

**Figura 20 - Precipitação acumulada no mês de Fevereiro 2017**

Disponível em: [http://www.inmet.gov.br/sim/abre\\_graficos.php](http://www.inmet.gov.br/sim/abre_graficos.php). Acesso 03/11/17

**Quadro 6 - Precipitação a cada hora do dia 05/02/17**

Data	Hora	Temperatura (°C)			Umidade (%)			Pto. Orvalho (°C)			Pressão (hPa)			Vento (m/s)			Radiação (kJ/m²)	Chuva (mm)
		Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Inst.	Máx.	Mín.	Vel.	Dir. (°)	Raj.		
05/02/2017	00	25.7	26.3	25.5	77	78	74	21.3	21.4	21.1	945.0	945.0	944.6	2.3	44	4.6	-3.53	0.0
05/02/2017	01	25.7	26.0	25.6	77	78	76	21.4	21.5	21.2	945.3	945.3	945.0	1.3	88	6.2	-2.48	0.0
05/02/2017	02	24.8	25.8	24.8	80	81	77	21.2	21.5	21.2	945.1	945.4	945.1	2.3	82	6.4	-2.86	0.0
05/02/2017	03	23.9	24.9	23.9	86	86	79	21.3	21.3	20.9	944.9	945.1	944.8	0.8	267	5.6	-3.14	0.2
05/02/2017	04	21.2	23.9	21.2	94	94	86	20.1	21.4	20.1	945.0	945.0	944.8	3.2	255	11.6	-0.74	21.8
05/02/2017	05	20.8	21.2	20.8	95	95	94	20.0	20.1	19.9	944.2	945.0	944.1	1.1	275	7.0	-0.11	15.4
05/02/2017	06	20.4	20.8	20.3	95	95	95	19.6	20.0	19.5	943.8	944.2	943.8	0.1	88	1.8	-0.39	4.8
05/02/2017	07	20.2	20.4	20.1	95	95	95	19.4	19.6	19.4	944.0	944.0	943.8	0.9	347	2.3	-0.88	4.6
05/02/2017	08	20.3	20.3	20.1	95	95	95	19.6	19.6	19.4	944.9	944.9	944.0	0.4	22	2.2	-1.76	2.8
05/02/2017	09	20.6	20.6	20.3	95	95	95	19.9	19.9	19.6	945.5	945.5	944.9	0.0	321	1.1	32.79	1.6
05/02/2017	10	21.0	21.1	20.6	95	96	95	20.3	20.3	19.8	946.2	946.2	945.5	0.4	339	1.5	191.5	0.6
05/02/2017	11	22.2	22.3	21.0	95	96	95	21.4	21.5	20.3	946.3	946.4	946.2	1.1	191	2.7	440.8	0.0
05/02/2017	12	24.7	24.7	22.2	81	95	79	21.2	22.2	20.6	946.3	946.3	946.3	1.1	62	2.8	1050.	0.2
05/02/2017	13	25.2	25.8	24.7	76	83	76	20.7	22.0	20.7	946.1	946.3	946.1	2.6	12	4.9	1658.	0.0
05/02/2017	14	26.1	26.1	25.1	75	79	74	21.4	21.6	20.6	945.5	946.1	945.5	1.6	9	4.3	1397.	0.0
05/02/2017	15	28.1	28.2	26.0	69	76	67	21.9	22.5	20.9	944.4	945.5	944.4	2.3	39	6.2	3191.	0.0
05/02/2017	16	28.5	28.9	27.8	65	70	62	21.3	22.3	20.4	943.6	944.4	943.6	2.8	33	6.2	2770.	0.0
05/02/2017	17	27.4	30.0	27.4	68	68	58	21.0	21.7	20.1	943.0	943.6	942.9	3.8	353	7.6	2322.	0.0
05/02/2017	18	27.6	27.7	26.6	67	76	67	21.0	22.2	20.6	942.4	943.0	942.4	2.1	32	7.6	1195.	0.0
05/02/2017	19	26.7	27.7	26.4	74	76	66	21.8	22.2	20.8	942.3	942.5	942.2	1.4	323	4.9	631.0	0.0
05/02/2017	20	25.9	26.7	25.9	80	82	74	22.3	22.6	21.5	942.3	942.4	942.3	1.6	18	5.2	406.3	0.0
05/02/2017	21	24.9	26.1	24.9	83	83	77	21.7	22.5	21.5	943.0	943.0	942.3	1.5	354	4.0	163.7	0.0
05/02/2017	22	22.7	25.2	22.6	89	90	76	20.9	21.6	20.6	943.9	943.9	943.0	0.4	155	8.5	-2.91	1.8
05/02/2017	23	22.2	22.7	22.2	91	91	89	20.7	21.0	20.6	944.3	944.3	943.9	0.8	215	2.4	-2.96	0.2

Disponível em :[http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg\\_dspDadosCodigo\\_sim.php?QTU1NA==](http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTU1NA==).  
Acesso dia 03/11/2017 , 13:40hr

## **4.2 Atual sistema de drenagem em Caratinga**

Segundo os dados apresentados por GUIMARÃES, FERREIRA (2015), conforme tópico 2.2.3.1, o sistema de drenagem atual se mostra ineficiente, mostrando diâmetros inferiores sendo incapaz de conduzir toda a vazão de água decorrente de precipitação sem transbordar.

Sendo assim necessário realizar o seu redimensionamento, adequando a vazão do tubo a vazão total a ser drenada, importante também que as manutenções sejam feitas, para que o sistema funcione adequadamente.

## **4.3 Aplicação da CPA nas ruas da Praça Cesário Alvim, Caratinga/MG**

A CPA tem granulometria aberta formando uma camada drenante que garante uma boa aderência entre o pneu e o revestimento em dias de chuva. Desta forma, é um pavimento com baixo risco de aquaplanagem, baixo ruído e lâmina d'água reduzida, proporcionando conforto e segurança aos condutores nos dias de chuva (BERNUCCI et al., 2008).

Esse tipo de camada é usualmente executado em rodovias, sobre as camadas de mistura densa e estrutural, como o concreto asfáltico. Porém, os benefícios da aplicação dessa camada podem ser aproveitados ao meio urbano, aplicando a camada porosa de atrito sobre o pavimento já existente, garantindo uma drenagem mais eficiente das águas provenientes de precipitação, que geralmente ficam empoadas na superfície das ruas.

Para avaliar a aplicação da CPA nas ruas circundantes à Praça Cesário Alvim, em Caratinga/MG, foi feito uma análise comparativa entre a capacidade de drenagem da CPA, que segundo Silva (2005) pode variar entre 0,21 a 2,2 cm/s, e uma amostra do índice de precipitação de Caratinga, retirada do dia 05/02/2017, que foi a maior precipitação registrada no ano de 2017 até a redação deste trabalho, correspondendo a 21,8 mm em um período de uma hora.

Para o cálculo do escoamento contribuinte foi somado à área das ruas circundantes a Praça Cesário Alvim, que corresponde a 6.310,42 m<sup>2</sup>, e a área do

entorno da Rua Nestor Leite de Mattos, conforme Figura 21, que corresponde a 473.323,20 m<sup>2</sup>. Totalizando em uma área contribuinte total de 479.633,62 m<sup>2</sup>.

O volume total de água a ser absorvido pela CPA corresponde ao produto do índice de precipitação, de 21,8 mm/h, pela área de contribuição total, conforme cálculo abaixo.

na qual,

$$21,8 \text{ mm/h} = 0,00000605556 \text{ m/s}$$

O valor obtido de 2,90 m<sup>3</sup>/s representa um pior cenário, já que grande parte desse volume será capitado pelas bocas de lobo e drenado pelo sistema de drenagem convencional.

E para calcular o volume médio de água que o pavimento será capaz de drenar foi retirada a média da variação da capacidade de drenagem da camada porosa de atrito, que apresentou um valor de 1,205 cm/s. Esse valor foi multiplicado pela área de aplicação da CPA (Figura 22), como mostra o cálculo abaixo.

$$6.310,42 \text{ m}^2 * 0,01205 \text{ m/s} = \mathbf{76,04 \text{ m}^3/\text{s}}$$

$$(6.310,42 \text{ m}^2 + 473.323,20 \text{ m}^2) * 0,00000605556 \text{ m/s} = \mathbf{2,90 \text{ m}^3/\text{s}}$$

na qual,

$$1,205 \text{ cm/s} = 0,01205 \text{ m/s}$$



suficiente para não permitir a formação de laminas de água na superfície do pavimento na maior parte dos trechos da rua, e nos trechos mais solicitados como o entroncamento da Rua Nestor Leite de Mattos com a Praça Cesário Alvim, a CPA auxiliará agilizando o processo de drenagem.

Para garantir a drenagem por essa técnica, faz-se necessário antes da aplicação da CPA, fazer a regularização do CA, utilizando de técnicas como a fresagem, seguida do recapeamento asfáltico, deixando uma inclinação mínima de 1%, conforme as Diretrizes de Projetos de Hidráulica e Drenagem, da Secretaria de Vias Públicas de São Paulo, no sentido da rua que tem boca de lobo. E ai sim, aplicar a CPA, conforme esquema da Figura 23.

**Figura 23** - Modelo do pavimento com aplicação da CPA



Fonte: elaborado pelos autores

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho, para além do redimensionamento do sistema de drenagem, propõe-se a adoção do CPA, para melhorar a mobilidade urbana da área com redução de alagamentos. Apresentou resultados satisfatórios, tendo em vista que a camada de CPA é capaz de absorver as águas decorrentes de precipitação, a espessura da camada vai depender do índice máximo de precipitação da região.

A espessura adotada nas ruas que circundam a Praça Cesário Alvim será de 4,0 cm, de acordo com os dados coletados de precipitação ela será eficiente na drenagem do escoamento superficial, que apresentou no ano de 2017 um maior volume de chuva no dia 05 de fevereiro, com precipitação máxima de 21,8 mm no período de uma hora. E também pela possibilidade de ocorrência de colmatação da camada.

Para que esse sistema funcione perfeitamente será necessário realizar o aumento dos diâmetros dos dutos das tubulações de escoamento das águas pluviais, bem como realizar as manutenções periodicamente, retirando os resíduos que possam vir a obstruir as bocas de lobo impedindo a passagem de água, o que prejudicaria não só o escoamento superficial, mas provocaria o alagamento da região.

Quanto à camada de CPA (Camada Porosa de Atrito), é necessário também fazer a manutenção periódica evitando a colmatação, que seria o entupimento dos poros reduzindo a capacidade da permeabilidade do revestimento.

Como recomendação para trabalhos futuros, cálculos da camada porosa em outros locais da região, analisando não só sua capacidade de escoamento mais também espessura adequada.

## 6 REFERÊNCIAS

- ACIOLI, L.A; **Estudo Experimental de Pavimentos Permeáveis para Controle do Escoamento Superficial na Fonte**-Dissertação de Mestrado, UFRGS-IPH, 2005.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Glossário de termos hidrológicos**. Brasília, DF, 2002. Programa Computacional. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/gestaorechidricos/tecnologiacapacitacao/docs/Glossario/Instalar/GH>>. Acesso em: 14 set.17.
- ANDRADE FILHO, A. G; SZELIGA. M. R.; ENOMOTO, C. F. Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias-**Estudo de medidas Não-Estruturais Para Controle de Inundações Urbanas**, Departamento de Engenharia UEPG, CDD:627,2000.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. 1. Ed. p. 22, Porto Alegre: ABRH, 2005.
- BAPTISTA, M.: NASCIMENTO, N.: BARRAUD, SYLVIE, **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, (2005), p. 226.
- BERNUCCI, B. L; MOTTA, L. M. G; CERATTI, J. A. P; SOARES, B. J. **Pavimentação Asfáltica**- formação básica para engenheiros, Rio de Janeiro- PETROBRAS, 2008. Capítulo 4.
- BROSSEAUD, Yves. **Revestimentos Asfálticos Franceses**. Trabalho apresentado no 16°.Encontro do Asfalto, 3 a 5 dez 2002. Rio Janeiro, 10p.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 1. Ed. São Paulo: Oficina de Textos, ABRH, 2005.
- CASTRO, A.S - **Uso de pavimentos permeáveis e coberturas verdes no controle quali-quantitativo do escoamento superficial urbano**- Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas - Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental Doutorado, 2011.
- CASTRO. L R. **Mezclas drenantes**: 13° congresso Ibero - América Del Asfalto, São Jose, Costa Rica,2005. COSTA, A. R.; SIQUEIRA, E. Q.; FILHO, F. C. M. M. **Águas Pluviais Urbanas – Curso Básico de Hidrologia Urbana Guia do profissional em treinamento** – Recesa. Brasília, 2007. 130p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER ES-386/99. **Pavimentação – Pré-misturado a quente com asfalto polímero - Camada porosa de atrito** – Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 1999.

ECHEVERRIA, José Antônio Santana. **Revestimento asfáltico do tipo CPA**. SENASA em Revista, Santo Ângelo/RS, ano 3, dez de 2010.

FABER, M. **A importância dos rios para as primeiras civilizações**. Disponível em: < [http://www.historialivre.com/antiga/importancia\\_dos\\_rios.pdf](http://www.historialivre.com/antiga/importancia_dos_rios.pdf)>. Acesso em: 21 out. 2017.

GONÇALVES; A. B, OLIVEIRA; R. H. **Pavimentos Permeáveis e sua influencia sobre a drenagem**- escola politécnica da universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental - PHA, 2014.

GUIMARÃES; A. B, FERREIRA; L. F. **Estudo de caso: drenagem pluvial da Praça Cesário Alvim, Caratinga-MG**. Bacharelado em engenharia Civil, Instituto Tecnológico de Caratinga-ITC, 2015.

JUNIOR, José Antônio. A. **Evolução tecnológica: Desenvolvimento dos revestimentos asfálticos produzidos com asfaltos modificados por polímeros e borracha de pneus no Brasil**. Asfalto em revista, Rio de Janeiro, ano 4, n. 20, nov. 2011.

PAULA, H. M. **Drenagem urbana**- departamento de Engenharia Civil: hidrologia Universidade Federal de Goiás, 2010. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/joseluispradosanchez/aula-8-drenagem-urbana>>

PELLIZZARI, V. **Avaliação da Eficácia na Restauração da Capacidade de Infiltração da Camada Superior de Pavimentos Porosos**-Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2013.

PINTO, L. L. C. A. **O desempenho de pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**-tese (Doutorado)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitaria, 2011.

QUIÑONES, P. Enrich, MONTEVERDE, Hugo. **Primeras experiencias Uruguayas com asfaltos modificados y mezclas drenantes**. In: 10º. Congresso Ibero – Latino-americano del Asfalto, 1 – 6 nov. 1999. ESP, p. 775 – 779.

RAZ, Ramón T. Maintenance of permeability in porous mixes. **Congresso Europeu de Mezclas Drenantes**, 1997. Madrid – ESP.

RIGHETTO, A. M.; MOREIRA, L. F. F.; SALES, T. E. A. Manejo de águas pluviais urbanas. In: RIGHETTO, A. M. (Coord.). **Manejo de águas pluviais urbanas**. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 19-73.

SILVA, C. E. D. B.D. **Estudo da permeabilidade de misturas asfálticas de graduação aberta**. Dissertação de Mestrado- Universidade Estadual de Campinas- Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2005.

SILVEIRA, A. L. L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica**. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 1 ed. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; ABRH; EDUSP, 1993. p 35-51.

SUPERINTENDÊNCIAS DE PROJETOS E DE OBRAS, **Diretrizes de projeto para escoamento nas ruas e sarjetas**. Prefeitura do Município de São Paulo,1999.

TUCCI, C. E. M. **Água Doce - Água no Meio Urbano**, UFRS Cap.14, 1997.

TUCCI, C. E. M. Inundações Urbanas na América do Sul- **Inundações e Drenagem Urbana**. ABRH, 1 ed,Cap3. pg 64-75,2003.

VIRGILIS, A. L. C. **Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias**- Dissertação de Mestrado- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia e Transportes, 2009.

ZAGONEL,A .R. **Inovações em revestimentos asfálticos utilizados do Brasil**. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul- Departamento de Ciências exatas e Engenharia –Graduação em Engenharia Civil. 2013 p.74.