



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS I CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

**RAFAEL CUSTÓDIO LUNA DE SOUZA**

**ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE MICROBACIA URBANA NO  
MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE - PB**

**CAMPINA GRANDE  
2018**

**RAFAEL CUSTÓDIO LUNA DE SOUZA**

**ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE MICRO BACIA URBANA  
NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso na modalidade de Monografia apresentado ao curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como requisito obrigatório à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

**Área de atuação:** Drenagem Urbana.

**Orientadora:** Profa. Dra. Ruth Silveira do Nascimento

**CAMPINA GRANDE  
2018**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

S729a Souza, Rafael Custódio Luna de.  
Análise do escoamento superficial de microbacia urbana no município de Campina Grande - PB [manuscrito] / Rafael Custodio Luna de Souza. - 2018.  
60 p. : il. colorido.  
Digitado.  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia , 2019.  
"Orientação : Profa. Dra. Ruth Silveira do Nascimento , Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."  
  
1. Drenagem urbana. 2. Desenvolvimento urbano. 3. Inundações. 4. Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável - SUDS. I. Título  
  
21. ed. CDD 628

RAFAEL CUSTÓDIO LUNA DE SOUZA

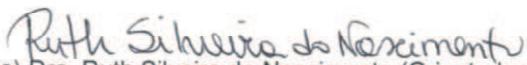
**ANÁLISE DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL DE MICROBACIA NA  
CIDADE DE CAMPINA GRANDE - PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao curso de Engenharia Sanitária e Ambiental  
da Universidade Estadual da Paraíba como  
requisito obrigatório à obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.  
**Área de atuação:** Drenagem Urbana.

APROVADO EM: 26 / 11 / 2018.

NOTA 10 ( dez ).

BANCA EXAMINADORA

  
Prof. (a) Dra. Ruth Silveira do Nascimento (Orientadora)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
Prof. Dr. Rui de Oliveira  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
Prof. Me. Igor Souza Ogata  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Dedico este trabalho, primeiramente, a Deus, por ser essencial em minha vida, é Ele o autor de meu destino, o meu guia, dedico também à minha mãe Maria do Rosário, minha irmã Amélia Maria, à minha esposa Evellyne Maria, à minha filha Maria Luiza e a toda minha família, por serem minha fonte de energia em todos os momentos da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que foi minha maior força nos momentos de angústia e desespero. Sem ele, nada disso seria possível. Obrigado, Senhor, por colocar esperança, amor e fé no meu coração.

Sou imensamente grato aos meus pais Maria do Rosário e Ivanildo Tenório, que iluminaram meus caminhos na direção do bem. Obrigado à minha irmã Amélia Maria por ser meu exemplo de vida, meu Norte. Também sou grata aos meus avós Severina de Oliveira e José Marques Luna (*in memoriam*), que me ensinaram valores importantes e contribuíram com a minha educação. Não posso deixar de agradecer à minha esposa Evelyne Maria, que esteve ao meu lado durante todos estes duros meses de elaboração deste trabalho. Sou grato aos professores, principalmente à minha orientadora Profa. Dra Ruth Silveira do Nascimento, que foram essenciais na minha vida acadêmica. Por fim, manifesto aqui minha gratidão à minha família, amigos e a todos que contribuíram de alguma forma para a concretização deste sonho.

“A fé na vitória tem que ser inabalável.”  
(Falcão, O RAPPÁ)

## RESUMO

O desenvolvimento urbano acelerou-se nas últimas décadas, com grande concentração de população em pequenos espaços, impactando os ecossistemas terrestre e aquático e a própria população com inundações. Esse processo ocorre em decorrência da falta de controle do espaço urbano, que produz efeito direto sobre a infraestrutura de águas pluviais (drenagem urbana e inundações ribeirinhas). O objetivo deste trabalho foi propor soluções alternativas para o sistema de drenagem pluvial urbano de uma sub - bacia do bairro da Palmeira, no município de Campina Grande-PB, a partir do diagnóstico da rede, e da estimativa do coeficiente de escoamento na bacia nos períodos pré e pós desenvolvimento. Os dados foram levantados em visitas in loco, e junto aos moradores, e os de precipitação no site do INMET, senão possível traçar o mapa dos problemas na drenagem urbana proveniente da modificação do coeficiente de escoamento superficial no cenário de pós desenvolvimento. De acordo com os cálculos realizados na microbacia do bairro da Palmeira foi obtido o aumento de cerca de 70% no pico das vazões das águas escoadas superficialmente, causado principalmente pela modificação na impermeabilização da bacia, ocasionando diminuição do tempo de percurso das águas até o talvegue, e pela ineficiência dos dispositivos que compõem a rede de drenagem do bairro, bocas coletoras e sarjetas. Foram propostas soluções estruturais, tais como reservatórios de retenção e parques para favorecer a infiltração, e não estruturais, como melhoria da varrição e da coleta de resíduos sólidos, sendo as escolhas mais adequadas, para minimizar as vazões de pico nos pontos de alagamento.

**Palavras-Chave:** Desenvolvimento urbano, Drenagem urbana, Inundações, Coeficiente de escoamento, Soluções alternativas, Impermeabilização.

## ABSTRACT

Urban development has been speeding up throughout the last decades, presenting with a large concentration of population in small spaces, resulting in floods that impact both terrestrial and aquatic ecosystems as well as the population. This process occurs due to the lack of control regarding urban space, which directly affects rainwater infrastructure (urban drainage and river floods). This study aimed to propose alternative solutions for the urban rainwater drainage system of a sub-basin based in Palmeira neighborhood, in Campina Grande city, Paraíba state, in accordance to a network diagnosis, associated to a drainage coefficient estimation of the basing considering both pre and post development periods. Data were collected in on-site visits, thus information was drawn from residents and the INMET website, which enabled to map the urban drainage problems followed by the modification of the drainage coefficient in the post-development scenario. According to the calculations made in Palmeira neighborhood, an increase of about 70% in the peak flow of the water-drained surface was obtained, mainly caused by the modification in the waterproofing of the basin, causing a decrease in the water travel time to the watercourse and by the inefficiency of the devices that make up the drainage network of the neighborhood, collectors and gutters. Structural solutions such as retention reservoirs and infiltration parks were proposed, as well as non-structural ones, such as improved sweeping and solid waste collection, were the most appropriate choices to minimize spillages at flood points.

**Keywords:** Urban development, Urban water drainage, Floods, run off coefficient, Alternative solutions, Waterproofing.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Fluxograma de processos decorrentes da urbanização e impactos..	15
Figura 2: Balanço hídrico numa bacia urbana .....	16
Figura 3: Superfície de infiltração.....	26
Figura 4: Perfil da pavimentação.....	27
Figura 5: Pavimentos porosos.....	28
Figura 6: Bacias de drenagem de Campina Grande .....	31
Figura 7: Microbacia estudada no bairro da Palmeira .....	32
Figura 8: Codificação das sub bacias e representação dos corpos hídricos da sede do município .....	33
Figura 9: Pontos favoráveis a alagamentos na microbacia .....	41
Figura 10: Posicionamento das bocas coletoras .....	42
Figura 11: Tipo e localização inadequados das bocas coletoras .....	43
Figura 12: Problema no dimensionamento da boca coletora e obstrução da sarjeta .....	44
Figura 13: Tampa coletora fechada com cimento .....	44
Figura 14: Boca coletora fechada com tela de ferro .....	45
Figura 15: Obstrução por resíduos sólidos.....	45
Figura 16: Tubulação principal com menor diâmetro .....	46
Figura 17: Traçado da galeria de drenagem da microbacia .....	47
Figura 18: Antes da pavimentação asfáltica.....	47
Figura 19: Depois da pavimentação asfáltica.....	48
Figura 20: Ilustração da microbacia C3-a .....	49
Figura 21: Ilustração da microbacia C3-b.....	49
Figura 22: Ilustração da microbacia C3-c.....	50
Figura 23: Ilustração da microbacia C3-d.....	50

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Porosidade efetiva de solos/pavimentos .....	24
Tabela 2: Valores de áreas segundo vários autores .....	35
Tabela 3: Exemplo de ajuste de unidade .....	36
Tabela 4: Coeficiente de escoamento superficial adotado pela prefeitura de São Paulo .....	37
Tabela 5: Coeficientes de escoamento superficial .....	38
Tabela 6: Tabela resumo .....	56

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	13
<b>3 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>14</b>
3.1 URBANIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA NAS CIDADES .....	14
3.2 DESENVOLVIMENTO URBANO SUSTENTÁVEL .....	17
<b>3.2.1 Sistema de drenagem urbana</b> .....	<b>18</b>
3.2.1.1 Medidas estruturais .....	19
3.2.1.2 Medidas não estruturais .....	19
<b>3.2.4 Sistemas de drenagem urbana sustentável (SUDS)</b> .....	<b>20</b>
<b>3.2.5 Urbanização de baixo impacto (LID)</b> .....	<b>21</b>
3.2.5.1 Disposição no local.....	23
3.2.5.2 Dispositivos de infiltração utilizados .....	24
3.2.5.3 Métodos dispersivos .....	25
3.2.5.4 Escolha dos dispositivos .....	28
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>30</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE.....	30
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM DE CAMPINA GRANDE.....	30
4.3 MICROBACIA DO RIACHO DAS PIABAS .....	31
4.4 LEVANTAMENTO DE DADOS .....	33
4.5 MÉTODO RACIONAL .....	34
<b>4.5.1 Premissas</b> .....	<b>34</b>
4.5.1.1 Áreas de drenagem pequenas .....	34
4.5.1.2 A equação e unidades.....	36
4.5.1.3 O coeficiente de run off .....	36
4.5.1.4 Cálculo da vazão máxima na microbacia em estudo .....	39
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>41</b>
5.1 DIAGNÓSTICO DA MICROBACIA.....	41
5.2 CÁLCULO DAS VAZÕES DE PRÉ E PÓS DESENVOLVIMENTO.....	48
5.3 SOLUÇÕES ALTERNATIVAS PARA A MICROBACIA .....	56

<b>6 CONCLUSÃO .....</b>	<b>60</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

As elevadas taxas de crescimento urbano apresentadas pelos países em desenvolvimento são responsáveis por profundas modificações sobre o meio ambiente. Dentre as consequências deste acentuado processo de urbanização figuram os problemas na drenagem urbana. As áreas que anteriormente contribuíam para o armazenamento e infiltração natural das águas pluviais tornam-se impermeáveis e contribuintes para o escoamento superficial excessivo, resultando no aumento da frequência de cheias e alagamentos, e consequentes danos materiais e humanos.

A avaliação de hidrogramas de cheia e da capacidade de suporte da rede de drenagem frente a diferentes cenários é fundamental por permitir analisar alternativas de projetos e medidas de controle, assim como verificar se a legislação propicia uma ocupação sustentável do solo.

Sendo assim novas técnicas estão sendo utilizadas a fim de minimizar ou, até mesmo, evitar problemas como as inundações, até porque soluções mais tradicionais, como o aumento do diâmetro de tubulações, não têm a mesma viabilidade de outrora, justamente pelo crescimento desordenado das cidades, o que acaba onerando bastante esse tipo de obra e causando grandes transtornos à população. Essas técnicas consistem em diminuir o pico das vazões, utilizando de meios alternativos para a infiltração da água pluvial.

A estreita relação entre a urbanização e o aumento da recorrência de inundações é alvo do planejamento urbano que adota a bacia como unidade de gestão e o incentivo a medidas de baixo impacto tem ganhado espaço, embora em ritmo lento, nas políticas públicas.

Neste trabalho foi realizada a delimitação e caracterização de uma sub-bacia urbana do município de Campina Grande, com o objetivo de verificar possíveis impactos da adoção de medidas alternativas de controle e regularização de picos de vazão das águas pluviais.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

O principal objetivo deste trabalho é propor soluções alternativas para o sistema de drenagem pluvial urbano de uma sub - bacia do bairro da Palmeira, na cidade de Campina Grande-PB.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Desenvolver um diagnóstico na bacia do bairro da Palmeira, para analisar os possíveis pontos críticos de inundações.

Analisar alteração no coeficiente de run off no pré e pós desenvolvimentos da sub-bacia do bairro da Palmeira na cidade de Campina Grande-PB.

Propor soluções alternativas para controle das vazões de pico no cenário pós desenvolvimento.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

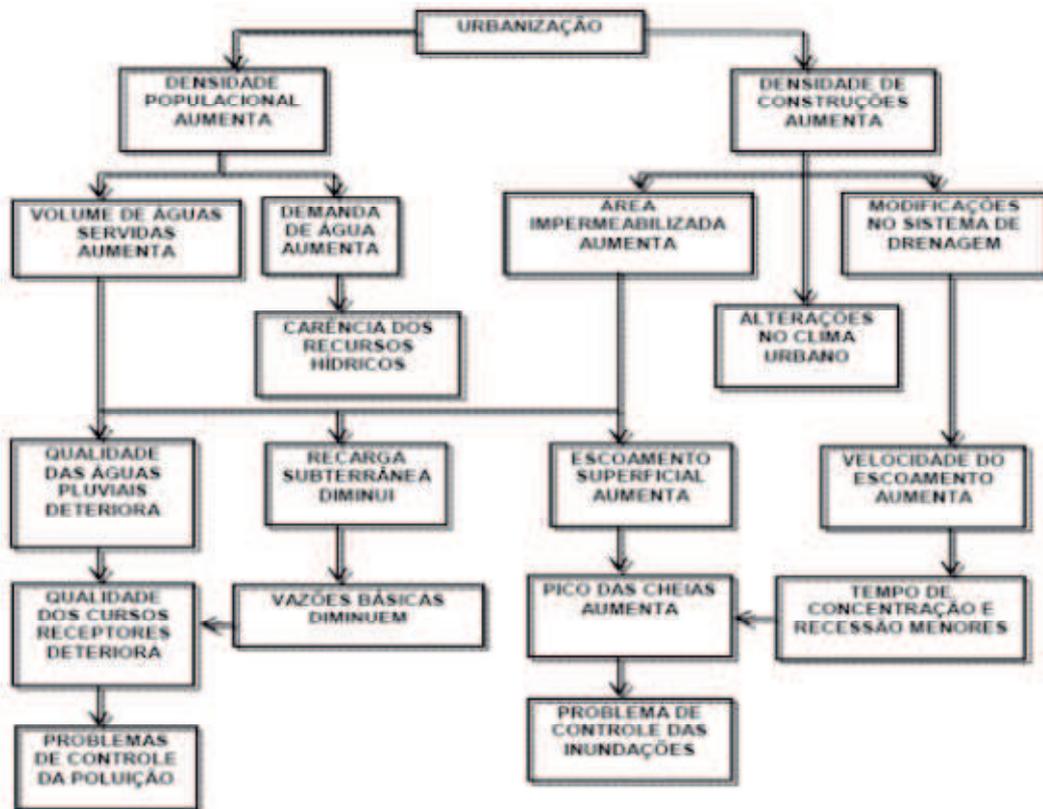
#### 3.1 URBANIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA NAS CIDADES

O aumento da população urbana traz várias alterações ao ambiente natural das cidades. Uma das transformações mais notadas, tanto pelo aspecto de mudança da paisagem como pelo fato dos efeitos gerados a partir dessa modificação do estado original, é a redução da capacidade de infiltração do solo urbano. O solo das cidades possui parcela considerável de sua superfície impermeabilizada pelas edificações, pavimentação de vias e calçadas. A transformação de áreas anteriormente permeáveis em áreas impermeáveis induz a um desequilíbrio hidrológico, caracterizado pelo aumento do escoamento superficial e pela antecipação dos picos de vazão no tempo, o que está diretamente relacionado com as enchentes em áreas urbanas (TUCCI, 2006).

Algumas das causas que se destacam nas enchentes devido à urbanização, conforme coloca Pompêo (2000), são o parcelamento do solo e a impermeabilização de grandes superfícies. Quando os prejuízos decorrentes das inundações se tornam visíveis e de reparo difícil, na grande maioria das vezes, as propostas de solução para os inconvenientes gerados são baseadas em obras de drenagem urbana, como sarjetas, galerias e canais, entre outros, que são de custo elevado.

Na Figura 1 temos um fluxograma que esquematiza, os efeitos para o meio ambiente decorrentes da urbanização, e que consequências podem ser sofridas quando não há a preocupação com a manutenção da sustentabilidade do ciclo hidrológico.

Figura 1: Fluxograma de processos decorrentes da urbanização e impactos

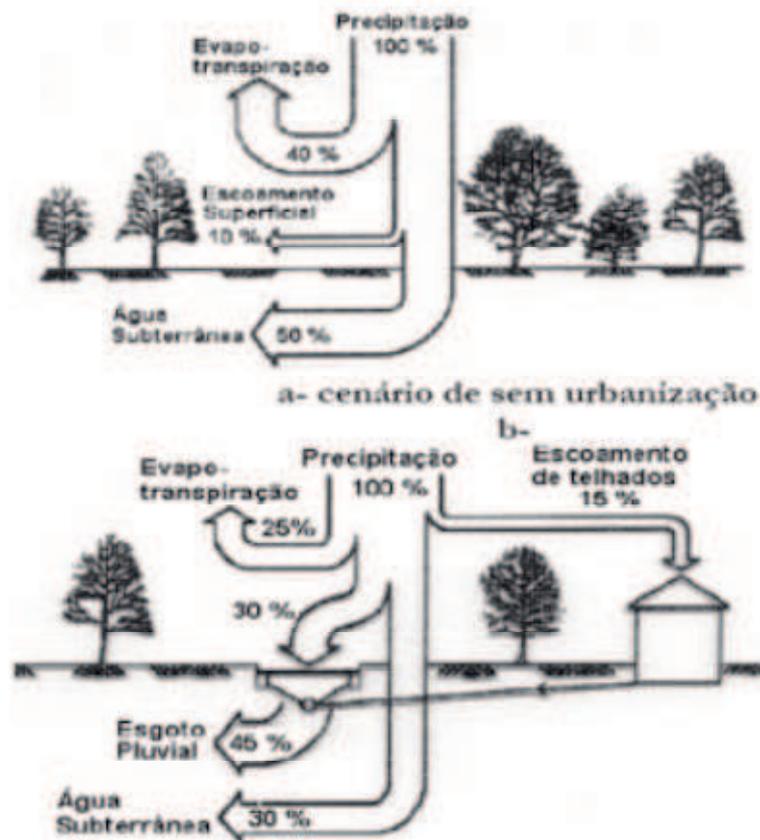


Fonte: Porto (1995 apud BENINI, 2005, p. 6).

Na Figura 2 está representado o efeito da urbanização sobre as variáveis do ciclo hidrológico, sendo possível identificar dois cenários (TUCCI, 2006). O primeiro cenário pode ser considerado como um período de pré-urbanização. Neste cenário, do 100% precipitados: 40% são perdidos por evapotranspiração; 10% escoam superficialmente; 50% infiltra no solo. Estes percentuais de distribuição da precipitação caracterizam uma boa distribuição das águas do ciclo hidrológico. Já no segundo cenário, considerado como sendo uma área urbanizada, observa-se que dos 100% precipitados: 25% se perdem por evapotranspiração, pois devido à redução da cobertura vegetal, há também uma redução na evapotranspiração; dos 75% restantes que chegam até o meio urbano, 45% são coletados pelas redes pluviais (quando existem e são corretamente dimensionadas); 30% infiltram. Há, portanto, uma redução de 20% no percentual de infiltração com relação ao cenário pré-urbanização. É importante ressaltar que, quando as redes de condutos pluviais não são dimensionadas devidamente, o percentual das águas pluviais, que deveriam

escoar pela canalização, escoam superficialmente, gerando as inundações urbanas em diversos pontos.

Figura 2: Balanço hídrico numa bacia urbana



Fonte: Tucci (2006).

A pavimentação de vias de tráfego, as calçadas, pisos cimentados e próprias edificações existentes nos lotes impermeabilizam o solo urbano, favorecendo o desequilíbrio do ciclo hidrológico, pois um maior percentual da água precipitada tende a escoar superficialmente ao invés de infiltrar naturalmente no solo, tornando comum a inundação em áreas urbanas.

Fica claro, portanto, que quanto mais se impermeabiliza o solo e acelera o escoamento através de dutos ou canais, a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta, produzindo inundações mais frequentes do que as que existiam quando a superfície era permeável e o escoamento se dava pela topografia natural.

Neste sentido, Kemerich et al. (2014, p. 83) afirmam que o escoamento superficial corre, "em grandes quantidades nos ambientes urbanos, em razão do alto grau de impermeabilização de suas superfícies, por meio das ruas, avenidas, telhados e construções".

Tucci (2008, p. 105) destaca que as inundações urbanas, relacionadas ao escoamento pluvial, têm origem a partir de dois processos, que podem ocorrer juntos ou separadamente, que são as inundações de áreas ribeirinhas e inundações em razão da urbanização. As inundações em razão da urbanização referem-se àquelas "que ocorrem na drenagem urbana por causa do efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento".

Araújo, Tucci e Goldenfum (2000) afirmam que a falta de planejamento na ocupação das áreas urbanas é a principal responsável por alterações significativas nas taxas de impermeabilização das bacias, o que ocasiona transtornos e prejuízos, em razão do aumento significativo das inundações, devido ao aumento das vazões máximas e à redução do tempo de concentração e do volume escoado. O volume que escoava lentamente pelo solo e ficava retido pela vegetação e em depressões, passa, então, a escoar em canais, exigindo maior capacidade de escoamento das seções

A falta de um manejo adequado das águas pluviais (planejamento-avaliação-diagnóstico), desde o início do processo de ocupação local, resulta, em geral, quando de sua implantação, em sistemas de drenagem bastante onerosos e de eficiência limitada. Torna-se, portanto, imprescindível, a avaliação continuada da capacidade do sistema, frente ao avanço de ocupação do espaço urbano, ao uso e ocupação do solo, às impermeabilizações de terrenos, à inexistência de medidas compensatórias, entre outros fatores (RIGHETTO et al., 2009).

### 3.2 DESENVOLVIMENTO URBANO SUSTENTÁVEL

Uma estratégia essencial para a obtenção de soluções eficientes para os problemas de drenagem urbana é a elaboração de planos diretores de drenagem. Neste sentido, planos de drenagem urbana que visem apenas à

execução de obras de controle tenderão ao fracasso, visto que o problema estará apenas sendo transferido de um local para outro. A macrodrenagem compõe a infraestrutura urbana, logo deve estar compatibilizada com os demais planos de desenvolvimento urbano do município, principalmente com os relacionados ao abastecimento de água, resíduos sólidos e esgotamento sanitário (CANHOLI, 2005).

Com a evolução das ideias e concepções a respeito da sustentabilidade das cidades, dentro do campo da hidrologia urbana são realizadas pesquisas de caráter multidisciplinar, analisando o efeito da urbanização para o escoamento de bacias hidrográficas e realizando pesquisas sobre propostas de ocupação do espaço urbano que minimizem os efeitos negativos gerados pela alteração do ciclo hidrológico (ALVES, 2005).

Nos estudos relativos à drenagem urbana, atualmente desenvolvidos, é dada atenção, cada vez maior, às etapas de planejamento no controle da drenagem urbana, buscando-se medidas de prevenção de enchentes e também meios de minimizar os impactos causados pelas grandes obras de drenagem urbana. Estudos, elaborados por Cruz e Tucci (2008) sobre avaliação dos cenários de planejamento na drenagem urbana, mostram que uma antecipação das ações a serem tomadas para o controle das enchentes urbanas possibilita redução significativa de gastos públicos com obras corretivas, podendo, portanto, fazer uso de soluções alternativas.

### **3.2.1 Sistema de drenagem urbana**

Muitas cidades no mundo vêm se destacando na gestão da drenagem urbana, pois vêm implementando técnicas que retêm, amortecem e retardam o escoamento. Para Tucci (2003), aos poucos, ideias inovadoras como estas vêm sendo difundidas com relação à drenagem urbana. As mesmas se baseiam fundamentalmente no emprego de medidas estruturais e não estruturais que tendem a minimizar o impacto hidrológico da urbanização, favorecendo um desenvolvimento sustentável.

### 3.2.1.1 Medidas estruturais

As medidas estruturais compreendem as obras de engenharia, que podem ser caracterizadas como medidas intensivas e extensivas.

As medidas intensivas, de acordo com o seu objetivo, podem ser de quatro tipos: de aceleração do escoamento: canalização e obras correlatas; de retardamento do fluxo: reservatórios (bacias de detenção/retenção), restauração de calhas naturais; de desvio do escoamento: túneis de derivação e canais de desvio; e que englobem a introdução de ações individuais visando tornar as edificações à prova de enchentes.

Por sua vez, as medidas extensivas, correspondem aos pequenos armazenamentos disseminados na bacia, à recomposição de cobertura vegetal e ao controle de erosão do solo, ao longo da bacia de drenagem.

### 3.2.1.2 Medidas não estruturais

Em contraposição às medidas estruturais, que podem criar uma falsa sensação de segurança e até estimular a ampliação da ocupação das áreas inundáveis, as ações não estruturais podem ser eficazes a custos mais baixos e com horizontes mais longos de atuação (TUCCI, 2002).

As ações não estruturais procuram disciplinar a ocupação territorial, o comportamento de consumo das pessoas e as atividades econômicas.

Considerando aquelas mais adotadas, as medidas não estruturais podem ser agrupadas em: ações de regulamentação do uso e ocupação do solo; educação ambiental voltada ao controle da poluição difusa, erosão e resíduos sólidos; seguro-enchente; e sistemas de alerta e previsão de inundações (BRAGA, 1994).

Por meio da delimitação das áreas sujeitas a inundações em função do risco, é possível estabelecer um zoneamento e a respectiva regulamentação para a construção, ou ainda para eventuais obras de proteção individuais (como a instalação de comportas, portas-estanques e outras) a serem incluídas nas construções existentes. Também pode-se desapropriar algumas áreas, destinando-as a praças, parques, estacionamentos e outros. Por outro lado, os

seguros-enchente podem ser calculados a partir da determinação dos riscos associados às cheias.

Os sistemas de previsão e alerta visam evitar o fator surpresa que, muitas vezes, provoca vítimas fatais e grandes prejuízos pelo alagamento de vias, aprisionamento de veículos, inundação das edificações e de equipamentos. O sistema de alerta facilita as ações preventivas de isolamento e retirada de pessoas e de bens das áreas sujeitas a inundações, bem como a adoção de desvios de tráfego (BRAGA, 1994).

As ações de regulamentação do uso e ocupação do solo visam prevenir contra os fatores de ampliação dos deflúvios, representados pela impermeabilização intensa da bacia de drenagem e pela ocupação das áreas ribeirinhas inundáveis, fatores que sobrecarregam a capacidade natural de armazenamento e o escoamento das calhas dos rios.

Em um planejamento consistente de ações de melhoria e controle dos sistemas de drenagem urbana, deve estar prevista uma combinação adequada de recursos humanos e materiais, e um balanceamento harmonioso entre medidas estruturais e não estruturais. Em certos casos nos quais as soluções estruturais são inviáveis técnica ou economicamente, ou mesmo intempestivas, as medidas não estruturais, como, por exemplo, os sistemas de alerta, podem reduzir os danos esperados a curto prazo, com investimentos de pequena monta (BRAGA, 1994).

#### **3.2.4 Sistemas de drenagem urbana sustentável (SUDS)**

Os sistemas de drenagem urbana sustentável são dispositivos e técnicas desenvolvidos sobre o tripé quantidade, qualidade e amenidade/biodiversidade, as quais devem ser lançadas de maneira equilibrada (WOODS-BALLARD et al., 2007). Esses sistemas vêm aos poucos, substituindo as redes tradicionais de drenagem. Em alguns casos, a instalação prévia de SUDS torna desnecessária a construção de sistemas tradicionais, ou então a dimensão necessária para estes últimos passa a ser bastante reduzida (BUTLHER; DAVIES, 2011).

Esses sistemas são projetados para funcionar em pequenas unidades discretas disseminadas pelo terreno de forma a manter as características hidrológicas o mais próximo possível das condições anteriores à ocupação.

A filosofia geral aplicada ou esperada dos SUDS pode ser, assim, resumida (WOODS-BALLARD et al., 2007):

- a) reduzir as vazões e taxas de escoamento;
- b) reduzir os volumes adicionais consequentes da urbanização;
- c) promover a recarga natural dos aquíferos;
- d) reduzir a concentração de poluentes e atuar como zona de amortecimento em caso de acidentes com derramamento de contaminantes;
- e) prover habitats para os animais e agregar valor estético para as áreas urbanas.

O planejamento dos sistemas de drenagem sustentável deve seguir uma combinação de diferentes dispositivos em série (conhecidos na literatura como *management train* ou *treatment train*), que se caracteriza por determinar a sequência das alternativas de controle de forma a minimizar os impactos inerentes da urbanização (WOODS-BALLARD et al., 2007). Essa associação de dispositivos objetiva manter a condição hidrológica o mais próximo possível das condições iniciais. Outra característica é minimizar a descarga para jusante, ou seja, os impactos devem ser contidos o mais próximo possível da fonte e, conseqüentemente, pelo proprietário da área.

O controle de quantidade se baseia nos seguintes princípios: infiltração; detenção/retenção; transporte e captação da água. Já o controle da qualidade é realizado a partir da sedimentação, adsorção, filtração, biodegradação, precipitação, assimilação, fotólise, nitrificação e volatilização dos componentes.

### **3.2.5 Urbanização de baixo impacto (LID)**

O LID tem como objetivo o planejamento integrado para o total desenvolvimento de uma área e das atividades que serão feitas, com particular

atenção à manutenção das características hidrológicas locais. Essas características passam a ser o elemento integrador do projeto. Dessa maneira, de forma a compensar os impactos na quantidade e qualidade das águas, as técnicas de LID buscam mimetizar as condições hidrológicas existentes por meio de instrumentos, conceitos de design e unidades de controle que buscam a manutenção do armazenamento, da detenção, da infiltração e da evaporação (PRINCE GEORGES COUNTY, 1999).

O processo de planejamento com essas técnicas pode ser potencializado por novas regras de zoneamento e uso do solo. Os principais benefícios desse tipo de intervenção são (PAZWASH, 2011):

- a) diminuição da terraplanagem e limpeza do terreno de forma a reduzir a erosão e assoreamento;
- b) minimização dos escoamentos superficiais majorados pela implantação de áreas com revestimentos impermeáveis, como ruas, calçadas e estacionamentos. Essas medidas possibilitam a utilização de vias com menor largura, o emprego de asfaltamento convencional em menor escala e também um número menor de vias no empreendimento;
- c) diminuição das áreas conectadas (impermeabilidade efetiva) à rede de drenagem, com telhados e pisos drenando para superfícies permeáveis ou vegetação;
- d) aumento do caminho das águas de forma a aumentar o tempo de concentração. Devem ser mantidas ao máximo a rugosidade e a declividade de pré-desenvolvimento;
- e) minimização da área impermeável com, por exemplo, o emprego de telhados não convencionais.

A mimetização das características de pré-desenvolvimento pode ser avaliada por meio da comparação entre os hidrogramas de pré-desenvolvimento e pós-desenvolvimento, de forma que, quanto menor o distúrbio criado na área, o que equivale a uma menor diferença entre os

hidrogramas de um caso e outro, menores também serão os investimentos em estruturas físicas que possam compensar essa diferença.

#### 3.2.5.1 Disposição no local

A disposição no local teve aplicação crescente nos últimos anos. Esse tipo de reservação das águas precipitadas é tipicamente voltado ao controle em lotes residenciais e vias de circulação, constituído por obras ou dispositivos que promovam ou incrementem a infiltração e percolação das águas coletadas.

O objetivo é reduzir os picos das vazões veiculadas para a rede de drenagem. A possibilidade de promover a recarga dos aquíferos e o possível aproveitamento das águas reservadas para usos diversos constituem vantagens adicionais desse tipo de contenção na fonte.

A capacidade de absorção de um solo depende de inúmeros fatores, entre os quais: cobertura vegetal, tipo de solo, condições do nível freático e qualidade das águas de drenagem.

Uma parte da precipitação que atinge o solo se infiltra. O movimento da água nas zonas não saturadas do solo, acima do nível freático, é denominado percolação. A porosidade efetiva é definida como a quantidade de água que um solo pode drenar.

A Tabela 1 de porosidade efetiva de solos/pavimentos fornece valores aproximados de porosidades efetivas para vários tipos de solos/pavimentos.

Tabela 1: Porosidade efetiva de solos/pavimentos

TIPO DE SOLO/PAVIMENTO	POROSIDADE EFETIVA (%)
Pedra britada	30
Cascalho e macadame	40
Cascalho (2-20mm)	30
Areia	25
Canaleta preenchida com cascalho	15-25
Argila expandida	5-10
Argila ressecada (crosta)	2-5
Siltes e argilas (abaixo da superfície)	0

Fonte: Urbonas e Glidden (1982).

Além das informações a respeito da capacidade de absorção do solo, deve-se também conhecer as condições de nível freático, a fim de verificar a capacidade do terreno para a disposição das águas drenadas. Para tanto, é necessário conhecer a distância entre a superfície do terreno e o nível freático; a declividade da superfície freática; a profundidade e direção do fluxo subterrâneo, incluindo as zonas de entrada e saída; e, por fim, a variação do nível de água ao longo do ano.

### 3.2.5.2 Dispositivos de infiltração utilizados

Nos últimos anos disseminou-se a pesquisa de dispositivos que incrementem a infiltração, visando a disposição no local.

De acordo com Nakamura (1988), esses dispositivos podem ser classificados em dois grupos principais, denominados métodos dispersivos e métodos em poços. Os métodos dispersivos incluem os dispositivos pelos quais a água superficial infiltra-se no solo. Os métodos em poços são aqueles em que há recarga do nível do nível subterrâneo pelas águas da superfície.

### 3.2.5.3 Métodos dispersivos

Os métodos dispersivos são os mais indicados onde há disponibilidade de espaço. Embora de prevenção possível, a colmatação desses dispositivos ao longo da vida útil da obra é praticamente inevitável. Estudos estão sendo conduzidos para aperfeiçoar as técnicas de prevenção (NAKAMURA, 1988).

#### 3.2.5.3.1 *Superfície de infiltração*

A forma mais simples de disposição no local é permitir que as águas superficiais percorram um terreno coberto por vegetação. Em áreas com subsolo argiloso ou pouco permeável, pode-se instalar subdrenos para eliminar locais com água parada.

#### 3.2.5.3.2 *Trincheiras de percolação*

As trincheiras de percolação são feitas a partir do preenchimento com meio granular de uma pequena vala para infiltração e/ou filtração e detenção do escoamento superficial. As trincheiras podem receber o escoamento por contribuição lateral ou até mesmo pontual, servindo a diversas situações. Elas geralmente apresentam largura e profundidade de 1 a 2 m, com comprimento variável. A composição do preenchimento é geralmente realizada com material granular com diâmetro aproximado de 40 a 60 mm que resulte em uma porosidade de, no mínimo, 30%. A instalação de uma manta geotêxtil (com permeabilidade maior que o solo) pode ajudar a evitar o efeito de “piping”, além de promover o pré-tratamento da água infiltrada.

#### 3.2.5.3.3 *Valetas de infiltração abertas*

São valetas revestidas com vegetação, em geral grama, adjacentes a ruas e estradas, ou junto a áreas de estacionamento, para favorecer a infiltração. Podem ser complementadas com trincheiras de percolação ou alagados construídos, formando pequenos bolsões de retenção (valetas

úmidas). A proteção dessas valetas com vegetação é importante para a conservação da superfície mais permeável do solo, que pode colmatar com a decantação de partículas finas. É possível que, eventualmente, seja necessária a retirada do material acumulado para restaurar a capacidade de infiltração.

As valetas gramadas são geralmente estruturas rasas dotadas de controle de nível, como pequenos vertedores (Figura 3). Apresentam largura até 2,0m, margens com inclinação 3:1 e declividade longitudinal de 1%. Essas estruturas promovem a melhoria da qualidade da água por meio da retenção de volumes e posterior sedimentação e também pela filtração promovida pela vegetação. Para maior eficácia na melhoria da qualidade da água, o dimensionamento da estrutura deve prever uma lâmina de água superior a 10 cm e velocidades de até 0,5 m/s para chuvas ordinárias.

Figura 3: Superfície de infiltração



Fonte: Portland (2002).

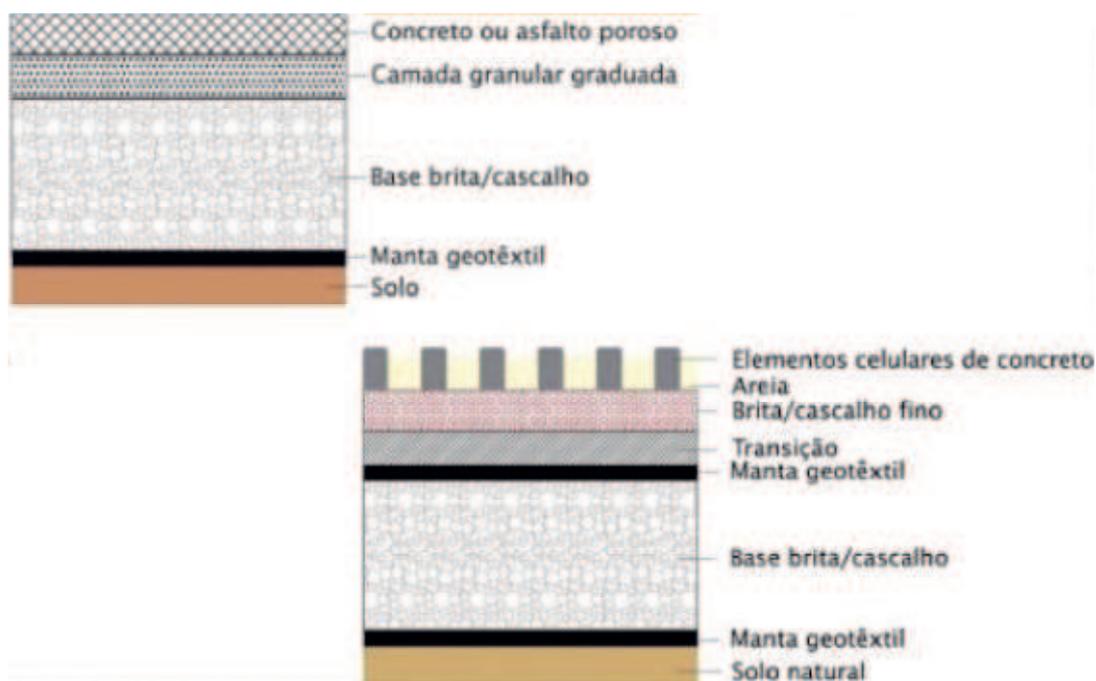
As valetas secas, estreitas e mais profundas que as valetas gramadas, podem ser utilizadas em áreas com ocupação mais densa. Elas são dotadas de um dreno submerso recoberto com cascalho, em que o fator preponderante para a melhoria da qualidade e a diminuição da quantidade é a infiltração. Para esse tipo de valeta, a taxa de infiltração do solo passa a ser um fator de importância e deve ser superior a 7 mm/h.

Ambos os sistemas devem ser dimensionados de forma a evitar os extravasamentos. As valetas podem receber estruturas acessórias para garantir baixas velocidades de escoamento, formação de piscinas, maior tempo de retenção e volume retido, bem como interceptação de sedimentos.

#### 3.2.5.3.4 Pavimentos porosos

Os pavimentos porosos são constituídos normalmente de concreto ou asfalto convencionais, dos quais foram retiradas as partículas mais finas (Figura 4 e 5). Adicionalmente, podem ser construídos sobre camadas permeáveis, geralmente base de material granular. Uma variação de pavimento poroso pode ser obtida com a implantação de elementos celulares de concreto, também colocado sobre base granular. Mantas geotêxteis são colocadas, geralmente, entre a base e o pavimento, de forma a evitar a passagem de finos.

Figura 4: Perfil da pavimentação



Fonte: Portland (2002).

Figura 5: Pavimentos porosos



Fonte: Portland (2002).

#### 3.2.5.4 Escolha dos dispositivos

A escolha do dispositivo mais adaptado para a drenagem no local deve passar por uma análise criteriosa das condições de uso e ocupação solo; das características hidrológicas locais; das características fisiográficas da bacia; do desempenho requerido com relação à quantidade e à qualidade dos benefícios a serem atingidos. Além disso, deverá atender aos requisitos de ordem ambiental visando o devido licenciamento.

As características de uso e ocupação do solo, assim como as de novos empreendimentos, são importantes para o estabelecimento das condições de contorno com relação à quantidade e à qualidade da água resultantes da interação da água de chuva com as edificações. Dependendo do tipo de ocupação, uma solução mais abrangente pode ser requerida de forma a eliminar ou controlar volumes em excesso ou contaminantes das mais diversas fontes. Nesse caso, parece óbvio que o controle de uma área residencial de baixa densidade necessita de um menor número de dispositivos do que uma área industrial.

O dimensionamento dos dispositivos de controle deve estar adequado ao sistema de drenagem local já instalado, atuando em conjunto para o atendimento das metas vislumbradas ou previstas pela legislação.

Com relação às características locais, a escolha dos dispositivos deve atender o tipo de solo existente; a profundidade do lençol freático; a área de

drenagem; a declividade e o espaço disponível (WOODS-BALLARD et al., 2007).

Junto a esses fatores deve ser dada particular atenção às leis vigentes para a bacia – todas devem ser atendidas. Nesse ponto, incluem-se ainda o enquadramento do corpo hídrico receptor e a existência de unidades de conservação ou qualquer determinação legal que deva ser respeitada. Ao mesmo tempo, outros aspectos devem ser considerados, como a mitigação do risco de inundação, a manutenção, a inserção paisagística, a segurança, os custos envolvidos e os benefícios esperados.

## 4 METODOLOGIA

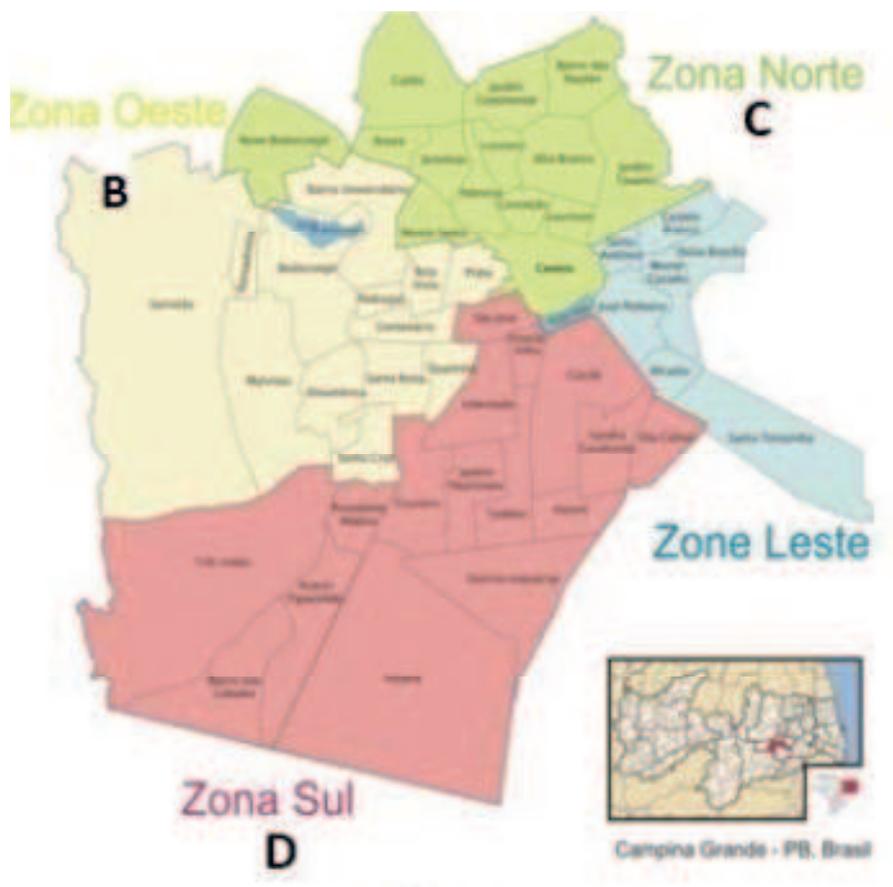
### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE

Campina Grande é um município do estado da Paraíba, Região Nordeste do Brasil, localizado na latitude 7° 13' 50" (Sul) e longitude 35° 52' 52" (Oeste); com altitude média de 552 m acima do nível médio do mar. Distante 120 km da capital do estado da Paraíba, João Pessoa, e ocupa uma área de 594,18 km<sup>2</sup>. Sua sede é uma típica cidade de porte médio, com uma população de aproximadamente 407 mil habitantes, sendo, portanto, o principal aglomerado urbano do Agreste Paraibano, Região Oriental do Planalto da Borborema. Possui um clima com temperaturas mais moderadas, considerado tropical, e estação seca de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger (IBGE, 2010).

### 4.2 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM DE CAMPINA GRANDE

O sistema de drenagem de Campina Grande, segundo a Secretaria de Planejamento do município, SEPLAN, possui três bacias de drenagem, denominadas em B, C e D (Figura 6). A bacia B compreende a zona oeste, bacia do Riacho de Bodocongó, subdividida em 16 sub – bacias, a bacia C está localizada nas zonas norte e leste possui 11 (onze) sub – bacias – Bacia do Riacho das Piabas, e a bacia D possui 13 (treze) sub - bacias está na zona sul, que compreende as bacias do Riacho do Prado.

Figura 6: Bacias de drenagem de Campina Grande



Fonte: Plano de Saneamento Básico de Campina Grande (PSBCG).

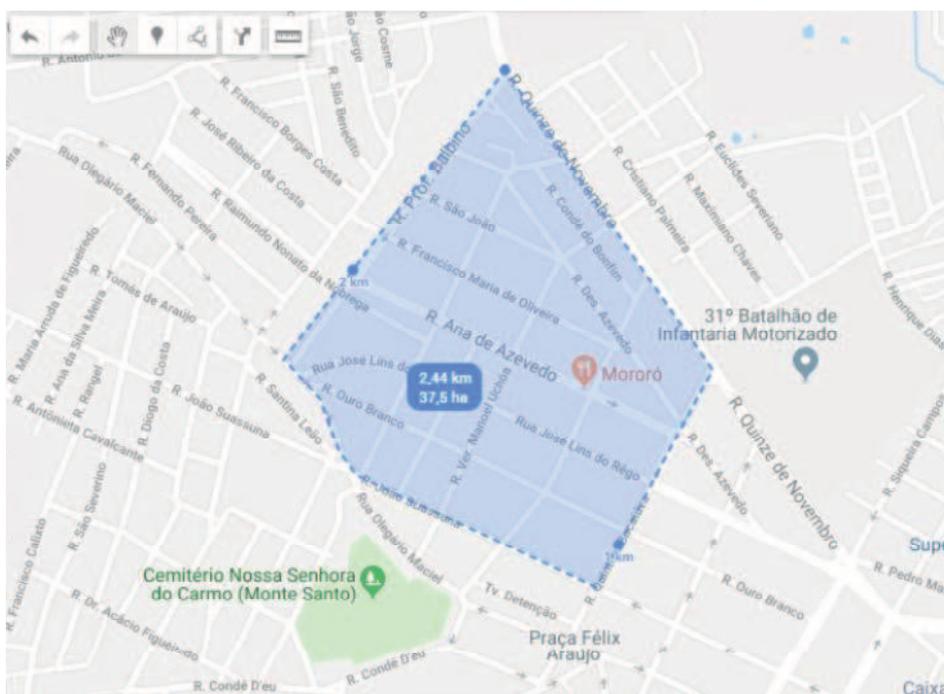
O sistema de macrodrenagem de Campina Grande é composto por canais abertos e fechados, que contemplam os bairros de Bodocongó, Jeremias, José Pinheiro, Louzeiro, Alto Branco, Conceição, Lauritzen, Centro, Jardim Tavares, Santo Antônio, Monte Castelo, Três Irmãs, Presidente Médice, Catolé e Ramadinha.

#### 4.3 MICROBACIA DO RIACHO DAS PIABAS

A área de estudo está localizada na zona norte da cidade de Campina Grande, compreendendo uma parte da sub-bacia C, próxima ao 31º Batalhão de Infantaria Motorizado. Totaliza cerca de 37,5 ha, limitada por um polígono: ao Norte, em 640 m pela rua Quinze de Novembro e sua continuação pela rua Quintino Bocaiúva, em 440 m; a oeste, rua Professor Balbino, com extensão de 645 m, até o cruzamento com a rua Olegário Maciel, ao sul, seguindo cerca de

310 m a sudeste, até a rua João Suassuna, com cerca de 470 m de extensão até encontrar rua a Quintino Bocaiúva novamente. Este polígono abrange os bairros: Palmeira e Monte Santo, onde seu exutório têm a seguinte coordenada geográfica: 7°12'42.3''S 35°53'31.3''W (Figura 7).

Figura 7: Microbacia estudada no bairro da Palmeira



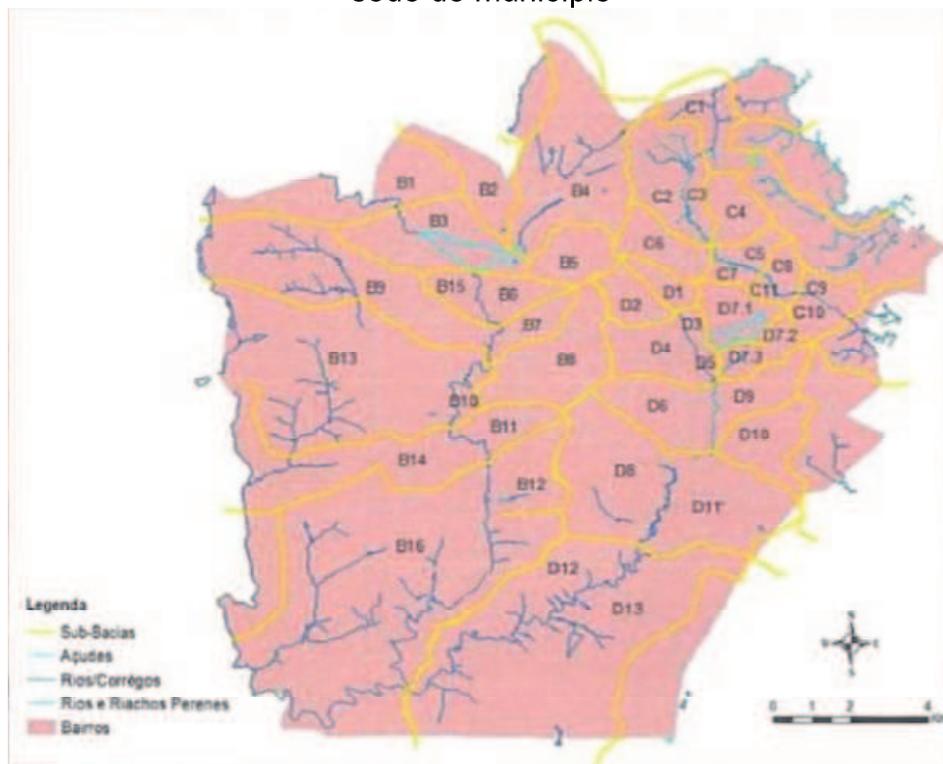
Fonte: Google Maps (2018).

A sub – bacia C3 (Figura 8) foi escolhida por ser uma das atingidas no episódio relatado pela PMCG, em 1985 e publicado naquela época pelo Diário da Borborema, que noticiou os efeitos de uma das maiores chuvas ocorridas na cidade, principalmente nos bairros Liberdade, José Pinheiro, Palmeira, Conceição, Cachoeira e Vila Cabral, onde foram registrados alagamentos, perdas de casas e prédios públicos, além de danos em algumas estruturas urbanas, como postes e outras.

Atualmente, este sistema ainda é considerado deficitário, tendo em vista que todos os anos são constatados alagamentos nos principais pontos da sub – bacia. Em episódio recente, fevereiro de 2018, ocorreu uma chuva intensa, com precipitação de aproximadamente 70mm, atingindo uma parcela considerável da população, através das perdas materiais e dos riscos associados à disseminação de doenças e acidentes. Sendo assim, o presente

estudo propõe a implementação de medidas estruturais e não estruturais a fim de minimizar e/ou evitar que episódios semelhantes se repitam.

Figura 8: Codificação das sub bacias e representação dos corpos hídricos da sede do município



Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico de Campina Grande (2014).

#### 4.4 LEVANTAMENTO DE DADOS

Para o levantamento das informações a fim de realizar o diagnóstico da rede de drenagem urbana da microbacia do bairro da Palmeira, foram realizadas visitas in loco, pesquisas com os moradores sobre os episódios de inundação e no Google Earth para levantamento da área da microbacia.

Para o levantamento do traçado da drenagem da microbacia foi utilizada a planta dos bairros da cidade de Campina Grande, no Auto-Cad.

Para o cálculo das vazões na bacia em estudo, foram utilizados os dados de precipitação coletados no site do INMET.

## 4.5 MÉTODO RACIONAL

O método racional é um método indireto e foi apresentado pela primeira vez em 1851 por William Thomas Mulvany e usado nos Estados Unidos por Emil Kuichling em 1889 e estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial (deflúvio).

O nome do método “Racional” vem do trabalho desenvolvido por Kuichling que mostrou que a relação à relação entre a vazão de precipitação e a vazão excedente é igual a área impermeabilizada da bacia quando toda a área está contribuindo. E ele chamou esta razão ( $Q/I$ ) de valor racional, daí a denominação atual de Fórmula Racional como conhecemos.

Mas dois parâmetros cruciais para o bom resultado do método ainda são obtidos de forma bastante empírica: o tempo de concentração e o coeficiente de run off.

O método é usado para calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, considerando uma seção de estudo. Na Inglaterra, Lloyd-Davies fez método semelhante em 1850 e muitas vezes o método Racional é chamado de Método de Lloyd-Davies.

A determinação do tempo de concentração é de fundamental importância no Método Racional, ao lado do coeficiente de escoamento superficial, cuja determinação está também sujeita a incertezas e imprecisões.

### 4.5.1 Premissas

Os princípios básicos desta metodologia são:

#### 4.5.1.1 Áreas de drenagem pequenas

Apesar de todos concordarem que a área deve ser pequena, há muita discordância quanto ao valor limite. Muitos autores adotam valores diferentes para o limite superior de área, segundo a Tabela 2:

O Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) recomenda o Método Racional para bacias de até 2 km<sup>2</sup>. Acima deste valor há outros

métodos mais indicados como o método unitário, método I-PAI WU e o método *Soil Conservation Service* (SCS).

Tabela 2: Valores de áreas segundo vários autores

Autor	Área (km <sup>2</sup> )
Porto (2003)	3,0
Osman Akan (1993)	13,0
PMSP	3,0
Linsley et al.	4,9
Paulo Sampaio Wilken	5,0
Linsley e Franzini	5,0
Califórnia Hihgways	40,5
Otto Pfasstetter	200
ASCE (1992)	0,8
Debo e Reese (1995)	0,4
Ven Te Chow	0,8

Fonte: Canholi (2014).

Considera a duração (D) da precipitação intensa de projeto igual ao tempo de concentração da área ( $t_c$ ). ( $D = t_c$ ). A vazão máxima ocorre quando toda a bacia está contribuindo, por isso a duração precisa ser pelo menos igual ao tempo de concentração. Admite-se que as chuvas têm igual intensidade, ou seja, não há variação na distribuição espacial e temporal da chuva, sobre toda a bacia hidrográfica. Por isso a área deve ser pequena, em áreas maiores isso dificilmente acontece. Adota –se também um coeficiente de “run off”, C, único e constante para toda a bacia com base nas suas características. Não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões.

#### 4.5.1.2 A equação e unidades

No entanto deve-se ter muito cuidado com as unidades e com a constante K, que faz o ajuste das unidades, para que a vazão seja sempre em m<sup>3</sup>/s.

A Tabela 3 apresenta um exemplo com o mesmo coeficiente de escoamento C, a mesma intensidade pluviométrica I e área A, com todas as variáveis com unidades diferentes e a constante K fazendo os ajustes das unidades para que a vazão seja em m<sup>3</sup>/s.

$$Q = \frac{C I A}{K}$$

Tabela 3: Exemplo de ajuste de unidade

Run off (C)	0,5	0,5	0,5
Intensidade Pluviométrica (I)	188 mm/h	188 mm/h	188 mm/h
Área (A)	2220000m <sup>2</sup>	222 ha	2.22 Km <sup>2</sup>
Constante (K)	3600000	360	3.6
Vazão (Q)	57.967 m <sup>3</sup> /s	57.967 m <sup>3</sup> /s	57.967 m <sup>3</sup> /s

Fonte: Canholi (2014).

#### 4.5.1.3 O coeficiente de run off

Coeficiente de Deflúvio Superficial Direto exprime a relação entre o volume de escoamento livre superficial e o total precipitado. As Tabelas 4 e 5 apresentam valores para C, outras tabelas com valores adotadas por instituições ou prefeituras podem ser encontradas em livros e manuais de hidrologia.

Tabela 4: Coeficiente de escoamento superficial adotado pela Prefeitura de São Paulo

Ocupação do Solo	C
EDIFICAÇÃO MUITO DENSA: Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com rua e calçadas pavimentadas	0,70 a 0,95
EDIFICAÇÃO NÃO MUITO DENSA: Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas	0,60 a 0,70
EDIFICAÇÕES COM POUCAS SUPERFÍCIES LIVRES: Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas	0,50 a 0,60
EDIFICAÇÕES COM MUITAS SUPERFÍCIES LIVRES: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas, mas com muitas áreas verdes	0,25 a 0,50
SUBÚRBIOS COM ALGUMA EDIFICAÇÃO: Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construções	0,10 a 0,25
MATAS, PARQUES E CAMPOS DE ESPORTES: Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados e campos de esporte sem pavimentação	0,05 a 0,20

Fonte: ASCE/WEF (apud CHOW, 1962).

Tabela 5: Coeficientes de escoamento superficial

Características da superfície	C
<b>Área Comercial</b>	
-Central	0,7 a 0,95
-Bairros	0,5 a 0,7
<b>Área Residencial</b>	
-Residências Isoladas	0,30 a 0,50
-Unidades Múltiplas (Separadas)	0,40 a 0,60
-Unidades Múltiplas (Conjugadas)	0,60 a 0,75
-Subúrbio	0,25 a 0,40
-Área com prédios de apartamentos	0,50 a 0,70
<b>Área Industrial</b>	
-Indústrias leves	0,50 a 0,8
-Indústrias pesadas	0,60 a 0,90
Parques, cemitérios	0,10 a 0,25
“Playground”	0,20 a 0,35
Áreas sem melhoramento	0,10 a 0,30
<b>Ruas</b>	
-Pavimentação asfáltica	0,70 a 0,95
-Pavimentação de concreto	0,80 a 0,95
-Blocos	0,70 a 0,85
Passeios	0,75 a 0,85
Telhados	0,75 a 0,95
<b>Terrenos relvados (solos arenosos)</b>	
-Pequena declividade (2%)	0,05 a 0,10
-Declividade média (2% a 7%)	0,10 a 0,15
-Forte declividade (>7%)	0,15 a 0,20
<b>Terrenos relvados (solos argilosos)</b>	
-Pequena declividade (2%)	0,15 a 0,20
-Declividade média (2% a 7%)	0,20 a 0,25
-Forte declividade (>7%)	0,25 a 0,30

Fonte: ASCE/WEF (apud Chow, 1962).

#### 4.5.1.4 Cálculo da vazão máxima na microbacia em estudo

A vazão que escoar na bacia será estimada utilizando o método racional. A intensidade da precipitação adotada foi obtida a partir da equação de curvas IDF da cidade de Campina Grande, utilizando a Equação abaixo.

$$I = \frac{k \cdot T^m}{(t + b)^n}$$

Onde:

I: intensidade pluviométrica (mm/h);

T : período de retorno (anos);

t : duração da chuva (min);

k, b, m, n : parâmetros relativos ao ajuste da equação.

Para Campina Grande - PB usaremos a Equação 3.

$$I = \frac{334 \cdot T^{0,227}}{(t + 5)^{0,596}}$$

E tomando (t=30 min e T=2 anos) por ser mais indicado para microbacias pois a prática nos mostra o resultado de danos pouco relevantes (TUCCI, 2006), sendo assim teremos:

$$I = \frac{334 \cdot 2^{0,227}}{(30 + 5)^{0,596}} = 46,9695 \text{ mm/h}$$

Para realizar análise da alteração nos coeficientes de run off (C) no pré e pós desenvolvimento, foram calculadas duas vazões máximas, sendo uma para o período de 20 anos (de 1963 a 1983) antes das impermeabilizações realizadas na microbacia e outra após os serviços de impermeabilizações.

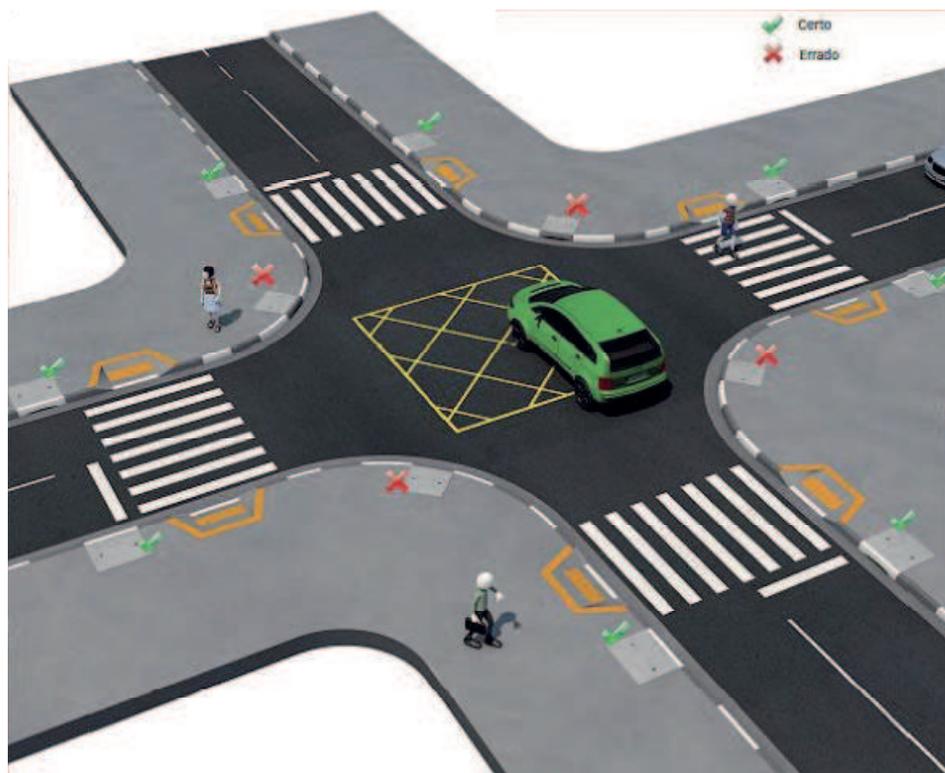
#### 4.6 COMPARAÇÃO ENTRE CENÁRIOS

Os cenários de pré e pós desenvolvimento foram comparados no exultório. Para o pós desenvolvimento toda a área foi dividida em quatro áreas menores, sendo somadas toda a área de telhado (cobertura), de asfalto, de calçamento e área livre a fim de atribuir o coeficiente de run off adequado para cada cobertura do solo, a fim de estimar o valor da vazão de pico.



da água que escoar pela sarjeta favorecendo o alagamento dos cruzamentos. Por isso recomenda-se que a instalação de bocas de lobo seja feita em pontos pouco a montante de cada faixa de cruzamento usada pelos pedestres conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10: Posicionamento das bocas coletoras



Fonte: Nakamura (2011).

Outro aspecto que foi analisado, foi o tipo de boca coletora escolhida para cada ponto da rede, foi visto que o critério de declividades longitudinais das vias e das sarjetas, que indicam o tipo mais adequado para cada situação, não foi adotado. Como exemplo, foi observado em locais com declividade acentuada, acima de 5%, bocas coletoras com aberturas laterais, onde seria mais indicada a instalação de bocas coletoras com grelhas. Foram observadas, também, de forma visual que as dimensões de algumas bocas coletoras já não atendem mais as vazões escoadas atualmente (Figura 11).

Figura 11: Tipo e localização inadequados das bocas coletoras



A falta de manutenção da rede e das vias públicas, interfere severamente na eficiência do sistema, reduzindo a capacidade de engolimento das bocas coletoras, dificultando o transporte das águas escoadas pelas sarjetas. Foi observada a presença de tampas das bocas coletoras danificadas, quebradas, com sedimentos, com resíduos sólidos nas vias e vegetação nas sarjetas, devido à limpeza urbana ineficiente, além de obstruir as sarjetas com rampas de acesso dos veículos (Figura 12). Os moradores contribuem também na ineficiência deste sistema, fechando as entradas das bocas coletoras com cimento ou com telas de ferro e lançando resíduos sólidos de forma inadequada nas vias (Figuras 13,14 e 15).

Figura 12: Problema no dimensionamento da boca coletora e obstrução da sarjeta



Figura 13: Tampa coletora fechada com cimento



Figura 14: Boca coletora fechada com tela de ferro



Figura 15: Obstrução por resíduos sólidos



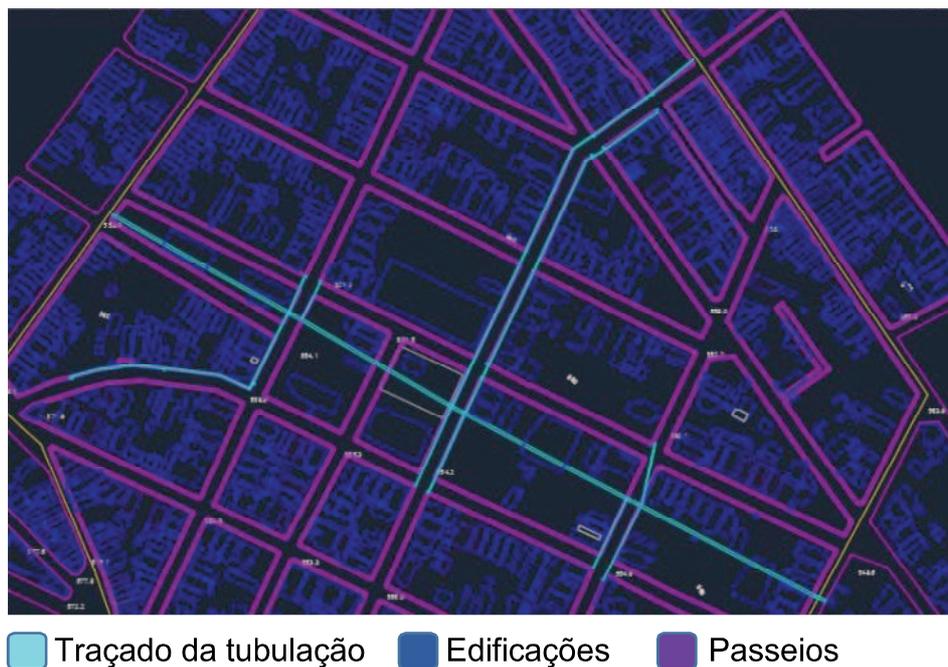
Também foi possível perceber que a tubulação que passa sob a rua Ana de Azevedo (tubulação principal) tem menor diâmetro que as demais, o que afeta diretamente na vazão da água drenada (Figura 16), aumentando, assim, a possibilidade de transbordamento e, conseqüentemente, de inundações, pois essa tubulação está localizada no fundo do vale, ou seja, toda a água que percola na microbacia em questão passará impreterivelmente por ela.

Figura 16: Tubulação principal com menor diâmetro



O traçado da galeria foi projetado e executado na década de 1980 (Figura 17), atravessando terrenos não ocupados, no entanto por não haver a preocupação de planejar a ocupação da área por onde passa a galeria, pela Prefeitura Municipal, a mesma ocorreu de forma aleatória por edificações públicas e privadas, como por exemplo o Posto de Saúde, a Companhia de Polícia Trânsito (CPTRAN), edifícios, residências, restaurante e outros. Isso dificulta a manutenção e ampliação da rede, além de expor os moradores a riscos à saúde e danos materiais.

Figura 17: Traçado da galeria de drenagem da microbacia



Nos últimos seis anos houve uma mudança significativa no tipo de pavimento das vias públicas principais do bairro, passando de paralelepípedo para asfalto, o que diminuiu o tempo de percurso das águas que escoam superficialmente e reduziu também as áreas impermeáveis, favorecendo, assim, aos episódios de alagamento que se tornaram mais frequentes (Figura 18 e 19).

Figura 18: Rua Ver. Manoel Uchôa antes da pavimentação asfáltica



Fonte: Google Maps (2018).

Figura 19: Rua Ver. Manoel Uchôa depois da pavimentação asfáltica



## 5.2 CÁLCULO DAS VAZÕES DE PRÉ E PÓS DESENVOLVIMENTO

O cálculo do coeficiente de escoamento para a bacia estudada foi baseado nos valores adotados na Prefeitura de São Paulo, conforme Tabela 3. Na análise do pré desenvolvimento, a região apresentava características de poucas edificações com partes de subúrbios com pequena densidade de construções adequando-se ao C tabelado para *subúrbios com alguma edificação*; como são apresentados valores dentro de um intervalo de referência foi utilizada a média.

$$C = \frac{0,10 + 0,25}{2} = 0,175$$

$$Q_{antes} = \frac{C.I.A}{360} = \frac{0,175 \cdot 46,9695 \cdot 37,5}{360} = 0,8562 \text{ m}^3/\text{s}$$

No período pós desenvolvimento foi implementada a rede de drenagem na bacia de estudo. Para o cálculo do coeficiente, a bacia foi subdividida em quatro áreas, delimitadas pelos pontos de alagamentos levantados, que contribuem com a vazão em marcha para o sistema de drenagem existente,

conforme as Figuras 20,21,22 e 23. Em cada área foi estimado o coeficiente C, das áreas cobertas por telhados, por asfalto, por blocos de calçamento (paralelepípedo) e para as áreas livres.

Figura 20: Ilustração da microbacia C3-a



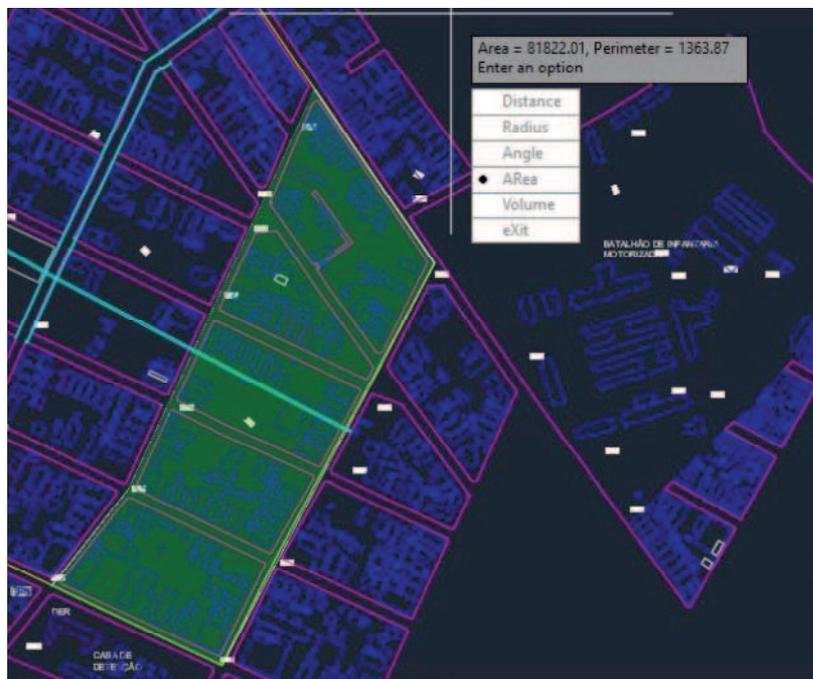
Figura 21: Ilustração da microbacia C3-b



Figura 22: Ilustração da microbacia C3-c



Figura 23: Ilustração da microbacia C3-d



Para o cálculo da vazão para a área C3-a utilizando o Método Racional.

$$C_{tel} = \frac{0,75 + 0,95}{2} = 0,85$$

$C_{tel}$  - coeficiente de escoamento dos telhados

$$C_{asf} = \frac{0,70 + 0,95}{2} = 0,825$$

$C_{asf}$  - coeficiente de escoamento dos asfaltos

$$C_{cal} = \frac{0,70 + 0,85}{2} = 0,775$$

$C_{cal}$  - coeficiente de escoamento dos calçamentos

$$C_{liv} = \frac{0,05 + 0,20}{2} = 0,125$$

$C_{liv}$  - coeficiente de escoamento das áreas livres

Área de telhado:

$$A_{tel} = \frac{7,4815}{10,3090} = 0,7257 = 72,57\%$$

$A_{tel}$  - percentual de áreas cobertas por telhados

Área de pavimento asfáltico:

$$A_{Asf} = \frac{1,3683}{10,3090} = 0,1327 = 13,28\%$$

$A_{asf}$  - percentual de áreas cobertas por asfaltos

Área de blocos (calçamento):

$$A_{cal} = \frac{0,6836}{10,3090} = 0,0663 = 6,63\%$$

$A_{cal}$  - percentual de áreas cobertas por calçamentos

Para a área livre:

$$A_{Total\ 1} = A_{telhados} + A_{Asfalto} + A_{Calçamento} + A_{livre}$$

$$A_{livre} = A_{total\ 1} - A_{telhados} - A_{Asfalto} - A_{Calçamento}$$

$$A_{livre} = 10,3090 - (7,4815 + 1,3683 + 0,6836)ha$$

$$A_{livre} = 0,7756ha$$

$$A_{liv} = \frac{0,7756}{10,3090} = 0,0752 = 7,52\%$$

Onde,  $A_{liv}$  - percentual de áreas livres

$$C3_a = (A_{tel} \times C_{tel}) + (A_{asf} \times C_{asf}) + (A_{cal} \times C_{cal}) + (A_{liv} \times C_{liv})$$

$$C3_a = (0,7257 \times 0,85) + (0,1328 \times 0,825) + (0,0663 \times 0,775)$$

$$+ (0,0752 \times 0,125) = 0,7872$$

Onde,  $C3_a$  - coeficiente de escoamento da área C3 - a

$$Q3_a = \frac{C_{\text{área 1}} \cdot I \cdot A_1}{360} = \frac{0,7872 \cdot 46,9695 \cdot 10,3090}{360} = 1,0588 \text{ m}^3/\text{s}$$

Onde,  $Q3_a$  - Vazão da área C3 - a

O mesmo procedimento foi seguido para as áreas: C3-b, C3-c e C3-d.  
Sabendo que  $A_2 = 9,8991 \text{ ha}$ .

Área de telhado:

$$A_{tel} = \frac{7,2973}{9,8991} = 0,7372 = 73,72\%$$

Área de pavimento asfáltico:

$$A_{Asf} = \frac{0,7328}{9,8991} = 0,0740 = 7,4\%$$

Área de blocos (calçamento):

$$A_{cal} = \frac{1,5435}{9,8991} = 0,1559 = 15,59\%$$

Para a área livre:

$$A_{Total\ 2} = A_{telhados} + A_{Asfalto} + A_{Calçamento} + A_{livre}$$

$$A_{livre} = A_{total\ 2} - A_{telhados} + A_{Asfalto} + A_{Calçamento}$$

$$A_{livre} = 9,8991 - (7,2973 + 0,7328 + 1,5435)ha$$

$$A_{livre} = 0,3255ha$$

$$A_{liv} = \frac{0,3255}{9,8991} = 0,0329 = 3,29\%$$

$$C_{\acute{a}rea\ 2} = (A_{tel} \times C_{tel}) + (A_{asf} \times C_{asf}) + (A_{cal} \times C_{cal}) + (A_{liv} \times C_{liv})$$

$$C_{\acute{a}rea\ 2} = (0,7372 \times 0,85) + (0,0740 \times 0,825) + (0,1559 \times 0,775) + (0,0329 \times 0,125) = 0,6381$$

$$Q_{\acute{a}rea\ 2} = \frac{C_{\acute{a}rea\ 2} \cdot I \cdot A_2}{360} = \frac{0,6381 \cdot 46,9695 \cdot 9,8991}{360} = 0,8241\ m^3/s$$

Sabendo que  $A_3 = 8,3805\ ha$ .

Área de telhado:

$$A_{tel} = \frac{4,3217}{8,3805} = 0,5157 = 51,57\%$$

Área de pavimento asfáltico:

$$A_{Asf} = \frac{0,9104}{8,3805} = 0,1086 = 10,86\%$$

Área de blocos (calçamento):

$$A_{cal} = \frac{0,5024}{8,3805} = 0,0599 = 5,99\%$$

Para a área livre:

$$A_{Total\ 3} = A_{telhados} + A_{Asfalto} + A_{Calçamento} + A_{livre}$$

$$A_{livre} = A_{total\ 3} - A_{telhados} + A_{Asfalto} + A_{Calçamento}$$

$$A_{livre} = 8,3805 - (4,3217 + 0,9104 + 0,5024)ha$$

$$A_{livre} = 2,6460\ ha$$

$$A_{liv} = \frac{2,6460}{8,3805} = 0,3157 = 31,57\%$$

$$C_{\acute{a}rea\ 3} = (A_{tel} \times C_{tel}) + (A_{asf} \times C_{asf}) + (A_{cal} \times C_{cal}) + (A_{liv} \times C_{liv})$$

$$C_{\acute{a}rea\ 3} = (0,5157 \times 0,85) + (0,1086 \times 0,825) + (0,0599 \times 0,775) + (0,3157 \times 0,125) = 0,6138$$

$$Q_{\acute{a}rea\ 3} = \frac{C_{\acute{a}rea\ 3} \cdot I \cdot A_3}{360} = \frac{0,6138 \cdot 46,9695 \cdot 8,3805}{360} = 0,6711\ m^3/s$$

Sabendo que  $A_4 = 8,1822\ ha$ .

Área de telhado:

$$A_{tel} = \frac{5,0629}{8,1822} = 0,6188 = 61,88\%$$

Área de pavimento asfáltico:

$$A_{Asf} = \frac{1,0241}{8,1822} = 0,1252 = 12,52\%$$

Área de blocos (calçamento):

$$A_{cal} = \frac{1,0291}{8,1822} = 0,1258 = 12,58\%$$

Para a Área livre:

$$A_{Total\ 4} = A_{telhados} + A_{Asfalto} + A_{Calçamento} + A_{livre}$$

$$A_{livre} = A_{total\ 3} - A_{telhados} + A_{Asfalto} + A_{Calçamento}$$

$$A_{livre} = 8,1822 - (5,0629 + 1,0241 + 1,0291)ha$$

$$A_{livre} = 1,0661\ ha$$

$$A_{liv} = \frac{1,0661}{8,1822} = 0,1303 = 13,03\%$$

$$C_{\acute{a}rea\ 4} = (A_{tel} \times C_{tel}) + (A_{asf} \times C_{asf}) + (A_{cal} \times C_{cal}) + (A_{liv} \times C_{liv})$$

$$C_{\acute{a}rea\ 4} = (0,6188 \times 0,85) + (0,1252 \times 0,825) + (0,1258 \times 0,775) \\ + (0,1303 \times 0,125) = 0,7430$$

$$Q_{\acute{a}rea\ 4} = \frac{C_{\acute{a}rea\ 4} \cdot I \cdot A_4}{360} = \frac{0,7430 \cdot 46,9695 \cdot 8,1822}{360} = 0,7932\ m^3/s$$

Para a vazão no exutório foram somadas as quatro vazões calculadas, então:

$$Q_{\text{exutório}} = Q_{\text{área 1}} + Q_{\text{área 2}} + Q_{\text{área 3}} + Q_{\text{área 4}}$$

$$Q_{\text{exutório}} = (1,0588 + 0,8241 + 0,6711 + 0,7932) \text{ m}^3/\text{s} = 3,3472 \text{ m}^3/\text{s}$$

Resumo dos cálculos encontra-se na Tabela 6.

Tabela 6: Vazões de escoamento superficial nas áreas C3-a, C3-b, C3-c e C3-d

Áreas	C3-a	C3-b	C3-c	C3-d
Área (ha)	10,3090	9,8991	8,3805	8,1822
Telhados (%)	72,57	73,72	51,57	61,88
Asfalto (%)	13,28	7,40	10,86	12,52
Calçamento (%)	6,63	15,59	5,99	12,58
Livre (%)	7,52	3,29	31,57	13,03
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	1,0588	0,8241	0,6711	0,7932

Como não há na Prefeitura de Campina Grande o projeto da rede de drenagem da microbacia, não é possível precisar a capacidade de transporte da galeria, no entanto os cálculos comprovam o aumento das vazões de pico na microbacia. Ao analisarmos, com mais detalhe, os pontos de alagamento diagnosticado verificamos que há um aumento gradual ao longo da microbacia, não atendendo um dos princípios básicos da drenagem urbana que é de não transferir as vazões para jusante.

A vazão de pós desenvolvimento no exutório aumentou cerca de 391% com relação à vazão de pré desenvolvimento, justificando os pontos de alagamento frequentes, atualmente.

### 5.3 SOLUÇÕES ALTERNATIVAS PARA A MICROBACIA

As soluções na engenharia contemporânea não devem restringir-se apenas as obras de canalização, mas também a soluções alternativas que auxiliam a drenagem das águas pluviais, principalmente em regiões extremamente urbanizadas que inviabilizam a escavação e substituição das canalizações para maiores diâmetros como é o caso da área estudada.

De acordo com os estudos levantados, as soluções mais viáveis atendem aos dois objetivos de controle do escoamento superficial que aumenta a infiltração e armazena a vazão excedente.

A praça em frente à igreja Nossa Senhora de Fátima (área C3-c), como não é impermeabilizada pode ser utilizada como uma área para instalação de uma vala de infiltração, rebaixando o nível do solo até coincidir com o nível da rua Ana de Azevedo, para que a água de percolação das ruas Professor Balbino, Sinhazinha de Oliveira e da própria Ana de Azevedo possam infiltrar no solo;

Trincheiras de percolação nas ruas Raimundo Nonato de Nóbrega, Francisco Maria de Oliveira, São João, Desembargador Azevedo e Arquimedes Souto Maior, a fim de aumentar o tempo de concentração no exutório da rua Ana de Azevedo;

Dispositivos de retenção/detenção em alguns empreendimentos, como telhados verde na cobertura da UNINASSAU e dos edifícios Mistral e Colinas da Palmeira Residence localizados na rua Vereador Manoel Uchôa, respectivamente. Instalar um dispositivo de retenção, reservatório inferior, no estacionamento da UNINASSAU.

Pavimento poroso para as ruas Professor Balbino, Ana de Azevedo, Vereador Manoel Uchôa, São João e Quintino Bocaiúva;

Como propostas não estruturantes, será proposto momentos de mobilização da população com palestras e orientações com relação aos novos dispositivos inseridos no bairro;

Propor à Prefeitura Municipal de Campina Grande, com base no diagnóstico levantado, uma revisão dos dispositivos da rede de drenagem da microbacia para melhor localização das bocas coletoras e do redimensionamento das sarjetas.

Treinamento dos colaboradores da Prefeitura Municipal que trabalham com a limpeza das ruas a fim de instruí-los a não lançar resíduos sólidos e sedimentos como areia, resto de material orgânico nas bocas coletoras;

## 6 CONCLUSÃO

O diagnóstico da microbacia do bairro da Palmeira indica que as alterações na impermeabilização e a atual situação dos dispositivos de boca de lobo e sarjeta são as principais causas dos alagamentos.

A análise da alteração do coeficiente de escoamento no pré e pós desenvolvimento na bacia indica um aumento de cerca de 391% na vazão de pico, entre os dois cenários.

Foram propostas soluções estruturais e não estruturais, mais adequadas, para minimizar as vazões de pico nos pontos de alagamento, escolhidas de acordo com as condições locais de aplicabilidade.

Não foi possível quantificar a eficiência das estruturas propostas, diante da falta de informações sobre solo e da rede de drenagem existente, no entanto, na bibliografia da área, as mesmas são amplamente aplicadas, como soluções para situações similares.

## REFERÊNCIAS

- ACIOLI, L. A.; SILVEIRA, A. L. L.; GOLDENFUM, J. A. Análise experimental da eficiência de pavimentos permeáveis. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 16., 2005, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** João Pessoa, 2005.
- ALCANTARA, U. M. A. **Roteiro para Projeto de Galerias de Águas de Seção Circular**. Rio de Janeiro: Revista de Engenharia Sanitária da Associação Interamericana de Engenharia Sanitária, 1962.
- BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.
- BRAGA, B. D. F. Gerenciamento urbano integrado em ambiente tropical. In: SEMINÁRIO DE HIDRAULICA COMPUTACIONAL APLICADA A PROBLEMAS DE DRENAGEM URBANA, 1994, São Paulo. **Anais eletrônicos...** São Paulo: ABRH, 1994.
- BUTLER, D.; DAVIES, J. **Urban drainage**. 3. ed. London: Spon Press, 2011.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 304 p.
- GOOGLE MAPS. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 15 nov. 2018.
- POMPÊO, C. A.; ZACCHI DA ROSA, F.; OLIVETTI, S. M. P. Drenagem Urbana em Santa Catarina. In: **Drenagem Urbana, menos alagamentos, mais qualidade de vida**. Porto Alegre: Assemæe, Núcleo de Drenagem Urbana, 1998.
- RIGHETTO, A. M.; MOREIRA, L. F. F.; SALES, T. E. A. Manejo de Águas Pluviais Urbanas. In: RIGHETTO, A. M., **Manejo de Águas Pluviais Urbanas, Projeto PROSAB**. p. 19-73. Natal, RN: ABES, 2009.
- SILVEIRA, A. L. L. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. p. 35-51. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2004.
- SOUZA, F. S.; TUCCI, C. E. M.; POMPÊO, C. A. Diretrizes para o Estabelecimento de Loteamentos Urbanos Sustentáveis. In: IV Encontro Nacional de Águas Urbanas, 4., 2005, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** Belo Horizonte, 2005.
- TUCCI, C. E. M. Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000. Disponível em: <<http://doi.org/10.21168/rbrh.v5n1.p15-23>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

TUCCI, C. E. M. Controle de Enchentes, In: **Drenagem Urbana**, Editora da Universidade/ABRH, Porto Alegre, 1995.

TUCCI, C. E. M. Gerenciamento da Drenagem Urbana. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 7, n. 1, 2002. Disponível em: <<http://doi.org/10.21168/rbrh.v7n1.p5-27>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das Águas Pluviais Urbanas**: Saneamento para todos. Programa de Modernização do Setor Saneamento. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2005. 197 p.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas**, Porto Alegre: ABRH/RHAMA, 2007. 393 p.

TUCCI, C. E. M. Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepção. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, v. 2, n. 2, p. 5-12, 1997. Disponível em: <<http://doi.org/10.21168/rbrh.v2n2.p5-12>>. Acesso em: 20 nov. 2018.

TUCCI, C. E. M. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: ABRH, 2003. 150 p.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: UFRGS Ed. da Universidade/ABRH, 1995. 430 p.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. Storm hydrology and urban drainage. In: TUCCI, C. **Humid Tropics Urban Drainage**. UNESCO, 2001.

URBONAS, B.; STAHR, P. **Best Management Practices and Detention for Water Quality, Drainage and CSO Management**. New Jersey: Prentice Hall, 1993. 449 p.