

## XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HIDRÍCOS DO NORDESTE

# **MODELAGEM DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA EM MICROBACIAS PARA PROTEÇÃO DE ÁREAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO. ESTUDO DE CASO: UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE-PB.**

*André Felipe Duarte Santos<sup>1</sup>; Andréa Carla Lima Rodrigues<sup>2</sup> & Paulo Vinícius de Morais Nóbrega<sup>3</sup>*

**RESUMO** – O crescimento desordenado da maioria das cidades brasileiras vem ocasionando ocupações irregulares de terrenos urbanos que contribuem para o aumento da impermeabilização do solo e, conseqüentemente, para o aumento das inundações. Somando-se ainda a falta de infraestrutura e saneamento para a população residente, monta-se o cenário propício para um ambiente imperfeito na vida urbana. Uma ferramenta de grande utilidade para o planejamento sustentável de bacias hidrográficas é a modelagem hidrológica e hidráulica. O presente estudo empregou a ferramenta computacional *Storm Water Management Model* – SWMM para avaliar os efeitos da urbanização de microbacias visando a minimização e prevenção de risco de inundações tendo como área de estudo o Campus I da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Pode-se concluir que a redução em 20% da área impermeável e o melhoramento de parte do sistema de drenagem são medidas viáveis, sendo a segunda opção a que apresenta resultados mais satisfatórios.

**ABSTRACT**– The uncontrolled growth of most Brazilian cities has been causing irregular occupation of urban land which contributes to the increase in impervious surfaces and increased flooding as a consequence. The lack of infrastructure and sanitation for the population also contribute to the creation of a suitable setting for a flawed environment for urban living. A very useful tool for planning sustainable watershed is the hydrologic and hydraulic modeling. The present study employed the computational tool *Storm Water Management Model* - SWMM to evaluate the effects of urbanization of watersheds aiming to prevent and minimize flood risk taking the Campus I of the Federal University of Campina Grande – UFCG as a study area. Conclusion shows that a reduction of 20% in the waterproof area and the improvement of part of the drainage system are feasible measures, the latter being the option that presents the most satisfactory results.

**Palavras-Chave** – Urbanização, Drenagem Urbana, Modelagem

## **INTRODUÇÃO**

O ritmo acelerado e desordenado do processo de urbanização em países em desenvolvimento, a exemplo do Brasil, vem motivando o estudo de aspectos da saúde relacionados com o meio ambiente nas áreas urbanas dessas regiões. A urbanização sem controle e sem mecanismos regulatórios pode gerar sérios danos à população.

<sup>1</sup> Graduando do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande. Caixa Postal 505. CEP: 58100-970. Campina Grande-PB. Email: andrefelipeds@hotmail.com

<sup>2</sup> Professora Adjunta da Universidade Federal de Campina Grande. Caixa Postal 505. CEP: 58100-970. Campina Grande-PB. Email: acaralima@yahoo.com.br.

<sup>3</sup> Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande. Caixa Postal 505. CEP: 58100-970. Campina Grande-PB. Email: paulovmn@hotmail.com.

O descaso do poder público é outra dificuldade encontrada na política de urbanização. A impermeabilização das áreas urbanas e, conseqüentemente, o aumento das vazões de pico induzem ao esgotamento dos sistemas de drenagem que, na maioria das vezes, operam acima de sua capacidade. A situação ainda é agravada pelo entupimento de bueiros e galerias, devido ao lançamento de lixo. Tais problemas são ocasionados também pela falta ou mau planejamento das cidades e ocupação de áreas ribeirinhas. (Tucci, 2001)

Os principais impactos das inundações sobre a população são: perdas materiais e humanas, interrupção da atividade econômica das áreas inundadas, contaminação da água e contaminação da população por doenças de veiculação hídrica (Tucci, 2005).

O estudo de bacias hidrográficas urbanas vem crescendo ultimamente, devido à necessidade do desenvolvimento de técnicas que diminuam os problemas ocasionados pelo crescimento acelerado e a ausência de planejamento da maioria das cidades brasileiras. A necessidade do entendimento dos processos ocorridos no escoamento pluvial e as implicações do processo de urbanização no seu funcionamento são de relevada importância para o planejamento sustentável de bacias urbanas. (Garcia, 2005)

Nesta pesquisa são avaliados os efeitos da urbanização em uma microbacia visando o melhoramento do sistema de drenagem e a minimização e prevenção de risco de inundações na área estudada.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Drenagem, segundo Neto (2006), é o termo empregado na designação das instalações destinadas a escoar o excesso de água, seja em rodovias, na zona rural ou na malha urbana. A drenagem urbana não se restringe aos aspectos puramente técnicos impostos pelos limites restritos à engenharia, pois compreende o conjunto de todas as medidas a serem tomadas que visem à atenuação dos riscos e dos prejuízos decorrentes de inundações aos quais a sociedade está sujeita.

A extinção da cobertura vegetal, ocasionada pelo desenvolvimento urbano, potencializa a ocorrência de processos erosivos, os quais causarão maior transporte de sedimentos para os corpos d'água, gerando uma modificação na calha fluvial, maior custo no processo de tratamento das águas, assim como danos à vida aquática.

O objetivo principal da drenagem urbana é de retirar as águas pluviais das áreas urbanizadas da maneira mais rápida possível para evitar transtornos, prejuízos e riscos de inundações. Para isso são utilizadas medidas estruturais, que têm custo oneroso e não representam por si só solução eficaz e sustentável dos problemas mais complexos da drenagem urbana (Porto *et al.*, 2007). E medidas não estruturais que, em conjunto com as estruturais, ou sem essas, podem minimizar significativamente os prejuízos com um custo menor. As medidas não estruturais de inundação podem ser agrupadas em: i) construções à prova de enchentes; ii) seguro de enchente; iii) previsão e alerta de inundação; iv) zoneamento de áreas de inundação através de regulamentação do uso do solo.

Basicamente a drenagem pluvial é dividida em dois níveis principais:

- **Microdrenagem:** determinada pela ocupação urbana, sendo definida pelo traçado das ruas;
- **Macro-drenagem:** Inclui, além da microdrenagem, as galerias de grande porte ( $D > 1,5m$ ) e os corpos receptores tais como canais e rios canalizados.

O Sistema de micro-drenagem é composto pelos pavimentos das ruas, sarjetas, bocas de lobo, galerias de águas pluviais e canais de pequenas dimensões. É geralmente dimensionado para um período de retorno variando entre 2 e 10 anos. Quando bem projetado, e com manutenção adequada, elimina praticamente as inundações na área urbana, evitando as interferências entre as enxurradas e o tráfego de pedestres, veículos e danos às propriedades. (Porto *et al.*, 2007)

O Sistema de macro drenagem em geral é constituído por canais de maiores dimensões, que recebem as contribuições do sistema de micro-drenagem e as lançam no corpo receptor. Do seu funcionamento adequado depende a prevenção ou minimização dos danos às propriedades e à saúde e as perdas de vida das populações atingidas, seja em consequência direta das águas, sejam por doenças de veiculação hídrica. (Porto *et al.*, 2007)

A modelagem matemática associada à simulação computacional tem se mostrado, nas últimas décadas, uma ferramenta indispensável no planejamento, dimensionamento e operação da drenagem urbana, proporcionando análises bem estruturadas e um melhor entendimento dos processos físicos do escoamento em redes de drenagem urbana. (Meller e Paiva, 2004)

A modelagem na drenagem urbana se propõe a analisar e verificar diversas condições de funcionamento dos sistemas de drenagem, assim como a avaliação de respostas da bacia, como parte da estratégia e planejamento detalhado do sistema, avaliação da poluição, gerenciamento operacional, controle em tempo real e análise de interação entre sub-bacias (Maksimovic, 2001).

No entanto, ainda hoje, se observa no Brasil, uma pequena quantidade de trabalhos que abordam o controle de inundações, considerando o efeito da combinação de ações distribuídas através do uso da modelagem.

Os modelos de drenagem urbana incluem basicamente duas partes sequencialmente conectadas: um modelo hidrológico para transformação da precipitação em escoamento superficial e um modelo hidráulico de propagação do escoamento em redes de condutos e canais. Os modelos hidrológicos basicamente descrevem o processo de transformação chuva-vazão através de algoritmos de perdas por armazenamento em depressões, interceptação, perdas por infiltração e de propagação na superfície.

Devido à ampla capacidade de simulação, da quantidade de dados disponíveis, das características do ambiente de simulação, por ser de domínio público, e tratar de um modelo bastante utilizado pelos pesquisadores na atualidade, o SWWM foi o modelo escolhido para este trabalho.

## **METODOLOGIA**

### **Área de estudo**

A pesquisa foi realizada no município de Campina Grande localizado no interior do estado da Paraíba, no agreste paraibano a 120 km da capital João Pessoa. No período de chuva, Campina Grande, como maioria das cidades brasileiras, sofre com o acúmulo de águas, provocada pelo grande escoamento superficial consequência do processo de urbanização, que aumenta a impermeabilização do solo. Por outro lado, o sistema de drenagem da cidade encontra-se defasado e sem manutenção, situação agravada pela falta de comprometimento dos poderes públicos, que não investem nem no melhoramento do sistema existente nem na criação de novos sistemas. Este fato também contribui para o processo de inundação da bacia urbana.

O clima da região, conforme o Ministério da Integração Nacional (2005) em função dos índices pluviométricos, aridez e o risco de seca é classificado como semiárido e apresenta temperaturas máximas de 30 C nos dias mais quentes de verão e 20 C em dias de inverno. As temperaturas mínimas ficam em torno de 20 C nos dias mais quentes de verão e 13 C nas noites mais frias do ano. A umidade relativa está entre 75 a 82%, com o período de chuva iniciando em maio até agosto. A precipitação média anual varia entre 700 mm e 800 mm, havendo concentração do total precipitado entre os meses de março e julho, com dominação de chuvas torrenciais.

O local escolhido para o desenvolvimento da pesquisa foi a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) – Campus I por tratar-se de uma área de grande relevância para a cidade e apresentar sérios problemas de drenagem pluvial. No ano de 2011, as fortes chuvas registradas ocasionaram áreas de alagamento dentro da universidade (Figura 1), incluindo várias salas de aula, e impossibilitando a realização das atividades ali desenvolvidas e o desmoronamento de alguns pontos de acesso aos blocos de aula, entre os quais, a ponte de acesso à biblioteca. Esses problemas são consequências de um sistema de drenagem inadequado ou inexistente.



Figura 1 – Alguns dos locais de inundações devido às chuvas de 2011. A – Bloco CA. B- Rua entre a biblioteca central e o bloco CAA.

### **Estrutura física e processo de urbanização da bacia**

O campus sede da Universidade Federal de Campina Grande funciona em instalações que tiveram sua construção iniciada na década de 1960 para acomodar uma pequena escola de engenharia, a Escola Politécnica. No início da década de 1970, sem seguir um planejamento pré-estabelecido, absorveu as instalações da Faculdade de Ciências Econômicas de Campina Grande, construída em terreno vizinho à Escola Politécnica. Com o programa

PREMESU – MEC/BID foram construídos novos prédios, para abrigar o Centro de Ciências e Tecnologia – CCT, de acordo com diretrizes de um plano diretor então elaborado.

Em decorrência do processo de expansão da Instituição, as poucas áreas livres foram sendo ocupadas com laboratórios, salas de aula e ambientes acadêmico-administrativos, construídos para acomodarem o desenvolvimento de pesquisas e a instalação de novos cursos, de tal forma que atualmente, a área de 30.885 hectares do campus universitário cada vez mais está se tornando pequeno para a construção de novas edificações.

Assim, a principal necessidade, em termos de estrutura física do campus de Campina Grande, é um sistema de drenagem de águas pluviais eficaz e moderno.

Na Figura 2 pode-se notar o processo de urbanização do campus da UFCG, entre os anos de 2005 e 2010 (período que o aplicativo *Google Earth* disponibiliza como imagens mais antigas e mais recentes do local). Mudanças principalmente no setor “c”, além de calçamento de novas ruas e diminuição da área verde são perceptíveis.



Figura 2– Processo de urbanização do campus.

## Modelo SWMM

O SWMM é um software bastante difundido e com grande aplicação para bacias urbanas. Ele foi desenvolvido pela U.S. EPA (*Environmental Protection Agency*) entre 1969 e 1971, após essa data sofreu diversas atualizações (James *et al.*, 2003).

O pacote deste modelo é bastante completo, pois ele se propõe a resolver problemas qualitativos e quantitativos. Huber e Dickinson (1992) apresentam a estrutura do modelo em nove blocos ou módulos, sendo quatro blocos computacionais e cinco blocos de serviços, além do bloco executivo. O bloco “*Runoff*” refere-se a transformação de chuva em vazão, o bloco “*Transport*”, ao transporte na rede de drenagem segundo o conceito da onda cinemática, o bloco “*Extran*” à modelação hidrodinâmica em condutos e canais e o bloco “*Storage/Treatment*” qualidade das águas.

O bloco “*Runoff*” permite a simulação quali-quantitativa das águas escoadas numa bacia e a propagação do fluxo e dos contaminantes até os principais elementos da rede de drenagem. A bacia é representada na forma de

um conjunto de sub-bacias e canais de propagação interconectados. O módulo processa suas rotinas com base em dados de precipitação ou neve, simulando degelo, infiltração em áreas permeáveis (modelos de *Horton* ou *Green Ampt*), detenção na superfície, escoamento na superfície e em canais, podendo ser utilizado para simulações de eventos isolados ou contínuos.

Para a análise, as sub-bacias, são subdivididas em duas impermeáveis, com armazenamento por detenção e sem armazenamento por detenção, e uma terceira sub-área permeável, com armazenamento na depressão do solo.

O escoamento superficial é obtido através de um reservatório não-linear para cada sub-área e pode ser representado pela combinação das equações de Manning e da continuidade, que podem ser escritas da seguinte forma:

$$\frac{dd}{dt} = i^* - \frac{W}{A.n} (d - dp)^{5/3} S^{1/2} \quad (1)$$

Onde:  $W$  = largura representativa da sub-bacia;

$n$  = coeficiente de rugosidade de Manning;

$A$  = área da sub-bacia;

$S$  = declividade da sub-bacia;

$D_d$  = altura do armazenamento por depressão;

$i^*$  = precipitação efetiva;

$d$  = profundidade da água no reservatório;

$t$  = tempo.

O SWMM utiliza os udômetros (*Rain Gages*) para representar a precipitação que entra no sistema. A superfície do solo é representada através de bacias de drenagem (*Subcatchments*) que, por sua vez, recebem a precipitação dos udômetros em forma de chuva gerando o escoamento superficial.

O escoamento ao longo do sistema propaga-se por uma rede com elementos de transporte, condutos (*Conduits*) e nós (*Junctions*). Os coletores transportam a água para os pontos de rejeição (*Outfalls*).

Todos os componentes do SWMM são modelados a partir do conceito nó/linha, o qual se aplica a qualquer forma de rede de drenagem. Este conceito permite que não existam quebras de rede e que os pontos estejam bem definidos.

### **Calibração do modelo**

Neste trabalho as sub-bacias foram definidas pelas quadras existentes no campus da UFCG. Dessa forma cada sub-bacia delimitada representa uma quadra e a bacia representa o campus da universidade.

Na definição da largura do escoamento para as sub-bacias, foi adotado o valor da largura do retângulo equivalente ( $l_e$ ), para a representação da bacia hidrográfica de forma retangular, conforme Equações 2 e 3:

$$Le = (Kc\sqrt{A})/1,12[1 - \sqrt{1 - (1,128/Kc)^2}] \quad (2)$$

$$Kc = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (3)$$

Onde:  $le$  = largura do retângulo equivalente;

$A$  = área da bacia hidrográfica ou subbacia;

$kc$  = coeficiente de compacidade;

$P$  = perímetro da bacia hidrográfica ou sub-bacia.

Com esses valores, pode se calcular as larguras  $W$  das mesmas, (Equação 4):

$$W = \frac{A}{Le} \quad (4)$$

Os coeficientes de rugosidade de Manning para as superfícies permeáveis e impermeáveis (NP e NI) foram calibrados conforme o tipo de superfície de cada sub-bacia, a partir da Tabela 1. A mesma metodologia foi aplicada para os coeficientes de armazenamento de depressão a partir da Tabela 2 (Rossmn, 2007).

Tabela 1 – Coeficientes de rugosidade de Manning

<b>Superfície</b>	<b>n</b>
Asfalto liso	0,011
Concreto liso	0,012
Revestimento de concreto Ordinário	0,013
Madeira	0,014
Tijolo com argamassa de cimento	0,014
Argila vitrificada	0,015
Ferro fundido	0,015
Tubos de metal corrugado	0,024
Superfície com escombros de cimento	0,024
Solos sem resíduos	0,05
Solos cultivados com cobertura vegetal <20%	0,06
Solos cultivados com cobertura vegetal > 20%	0,17
Cobertura natural	0,13
Gramma curta, savana	0,15
Gramado denso	0,24
Gramma	0,41
Vegetação rasteira clara	0,40
Vegetação rasteira densa	0,80

Fonte: (Rossman, 2007)

Paixão *et al.* (2004) desenvolveu uma pesquisa na área experimental da Empresa Estadual de Pesquisas Agropecuárias da Paraíba – EMEPA, localizada no município de Lagoa Seca (PB), onde foi realizado 65 testes de

infiltração que possibilitaram determinar a capacidade de infiltração inicial e final do solo (Tabela 3). Entre os modelos empíricos estudados o de Horton melhor se ajustou a curva de infiltração real apresentando uma constante de decaimento de 2,677 l/h.

Tabela 2- Capacidade de armazenamento de depressão.

Parâmetro	Valor
Superfícies impermeáveis	1,27 – 2,54mm
Gramados	2,54 – 5,08 mm
Pastagem	5,08 mm
Serapilheira	7,62 mm

Fonte: (Rossman, 2007)

Tabela 3– Valores utilizados na aplicação das equações de Horton.

Capacidade de Infiltração Inicial (mm/h)	Capacidade de Infiltração Final (mm/h)	Constante de Decaimento (l/h)
396,10	7,10	2,677

### Dados hidrológicos

Devido à necessidade de calibração do modelo alguns dados horários de precipitação foram adquiridos no INMET através do 3º Distrito de Meteorologia – DISME. Estes dados foram obtidos a partir da estação automática A313 localizada na estação meteorológica instalada na Embrapa Algodão de Campina Grande (Figuras 3), situada a 7°12'32,40"S e 35°54'16,70"O. Os dados de chuva foram medidos através do pluviógrafo.



Figura 3– Estação meteorológica da Embrapa Algodão de Campina Grande.

Na criação dos cenários para a área em estudo optou-se em utilizar a equação geral da relação IDF (Equação 05).

$$i = \frac{K.T^m}{(t + B)^n} \quad (05)$$

Onde:  $i$  = intensidade máxima (mm/h);

$T$  = frequência em termos de tempo de recorrência (em anos);

$t$  = duração da chuva (em minutos);

$B$ ,  $n$ ,  $m$  e  $K$  = constantes do local.

Aragão *et al.* (2000), usando dados de 15 postos pluviométricos da Paraíba, conseguiu estabelecer valores para as constantes do local de diversas regiões do Estado. Para Campina Grande os valores determinados constam na Tabela 4.

Tabela 4 – Constantes do local da equação geral da relação IDF para Campina Grande.

Constantes do Local para Campina Grande			
<b>B</b>	<b>n</b>	<b>m</b>	<b>K</b>
5,00	0,596	0,227	334,00

A escolha em se trabalhar com a Equação 5 foi acarretada pela inacessibilidade a dados pluviográficos horários da região em estudo.

### Tempo de retorno

O risco adotado para um projeto de drenagem urbana define a relação entre os investimentos envolvidos para reduzir a frequência das inundações e os prejuízos aceitos. Dessa forma, os riscos usualmente adotados são baseados em tempos de retorno pequenos (Tucci, 2003). A Tabela 5 apresenta os riscos usualmente aplicados nos projetos de drenagem pluvial.

Tabela 5– Tempos de retorno para sistemas de drenagem urbana.

<b>Sistema</b>	<b>Característica</b>	<b>Intervalo (anos)</b>	<b>Valor frequente</b>
Microdrenagem	Residencial	02 -05	02
	Comercial	02 - 05	05
	Áreas de prédios públicos	02 - 05	05
	Aeroportos	05 - 10	05
	Áreas comerciais e avenidas	05 -10	10
Macro drenagem	-	10 - 25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas	-	5 - 100	100

### Cenários

A fim de analisar o desempenho do sistema de drenagem na área de estudo foi inicialmente empregado um cenário que simulasse, o mais fielmente possível, a realidade existente no campus I da UFCG, denominado de Cenário 1.

A partir daí foram definidos outros dois cenários (denominados de Cenários 2 e 3), com o intuito de observar a resposta do modelo, e levantar discussões com o intuito de tornar o sistema local mais eficaz.

O Cenário 2 caracteriza-se por propor a redução da impermeabilidade das sub-bacias favorecendo o processo natural de infiltração. Neste cenário houve um aumento de 20% de área permeável para cada sub-bacia.

O Cenário 3 é representado pela melhoria no sistema de drenagem através da construção de um canal no lugar do riacho que corta o campus. Este cenário foi proposto visto que existe um projeto da prefeitura local da construção do mesmo.

## **RESULTADOS**

### **Resultados do modelo**

Os eventos foram calibrados individualmente tentando obter o melhor ajuste individual dos eventos monitorados. Não foi utilizado algoritmo de otimização na calibração dos eventos. A calibração foi realizada de forma independente buscando a melhor representatividade dos eventos.

A porcentagem de área impermeável para as sub-bacias foi obtida do uso do solo. As declividades médias (S) foram calculadas através de planta planialtimétrica pelo método das quadrículas associadas a um vetor, conforme descrição de Villela e Mattos (1975).

O método de tentativa e erro foi adotado para a calibração onde buscou-se uma aproximação, através do ajuste manual dos parâmetros, de valores para a capacidade de armazenamento em depressões das superfícies permeáveis (DP) e impermeáveis (DI), e um percentual para áreas impermeáveis não conectadas.

Partindo das Tabelas 1 e 2 que apresentam os intervalos de valores de DP e DI sugeridos pelo Manual do Usuário do SWMM, foram verificados os valores mínimos, médios e máximos e um percentual de 10% para áreas impermeáveis não conectadas. A partir da comparação da altura da lâmina de escoamento entre a resposta do modelo e as inundações ocorridas na bacia foram determinados os índices da capacidade de armazenamento das depressões.

Para a construção do sistema de drenagem do campus da UFCG utilizou-se como referência a planta baixa do campus com o uso do software AutoCad. O sistema é composto por 14 subáreas de drenagem, 20 nós, 1 exutório e 20 condutos.

Na Tabela 6 encontram-se as subáreas, largura das sub-bacias encontradas a partir da Equação 4, área das sub-bacias, área impermeável e declividade.

Tabela 6 – Valores obtidos da bacia

Sub-bacia	Largura da sub-bacia	Área (ha)	% Área impermeável	Declividade (m/m)
1	141,730	3,44	25	0,0528
2	74,316	1,52	60	0,0648
3	107,796	2,36	20	0,0602
4	104,999	1,54	70	0,0395
5	58,037	1,80	100	0,0158
6	110,471	3,46	65	0,0604
7	75,990	2,41	65	0,0985
8	70,755	2,21	90	0,0967
9	123,306	3,68	65	0,1024
10	38,923	0,40	40	0,0569
11	49,100	0,52	50	0,0655
12	43,786	0,69	50	0,0661
13	26,393	0,49	80	0,0699
14	97,545	2,05	80	0,0307

Para o cálculo da infiltração no solo, o SWMM possui a opção de se trabalhar com três formulações: *Horton*, *Green Ampt* e *Curve Number*. Para o desenvolvimento deste trabalho foi escolhida a equação de Horton, devido à maior disponibilidade dos seus dados na literatura. O modelo de Horton é baseado em observações empíricas que mostram que a infiltração decresce exponencialmente de uma taxa inicial máxima até uma taxa mínima ao longo do processo. Os parâmetros de entrada neste método são: taxas máxima e mínima de infiltração, coeficiente de decaimento, que descreve o quão rapidamente a taxa de infiltração decresce no tempo, e um intervalo de tempo  $t$  que o solo leva pra ir de completamente saturado para completamente seco.

Devido ao fato da área de estudo ser predominantemente um espaço de prédios públicos, foi determinada à partir da tabela 5 a precipitação para períodos de retorno de 2 e 5 anos. Também foi determinada para o período de retorno de 1 ano para avaliar o real comprometimento da rede. Foi possível estimar a precipitação da área estudada a partir do conhecimento dos coeficientes  $B$ ,  $n$ ,  $m$  e  $K$ , da equação geral da relação IDF obtidos por Aragão (2000) para a cidade de Campina Grande.

Para cada tempo de retorno de 1, 2 e 5 anos calculou-se a intensidade ( $i$ ) para eventos com durações de 15, 30, 60, 120 e 180 minutos. Os resultados encontrados possibilitaram a construção das curvas de intensidade de chuva como mostra a Figura 4.

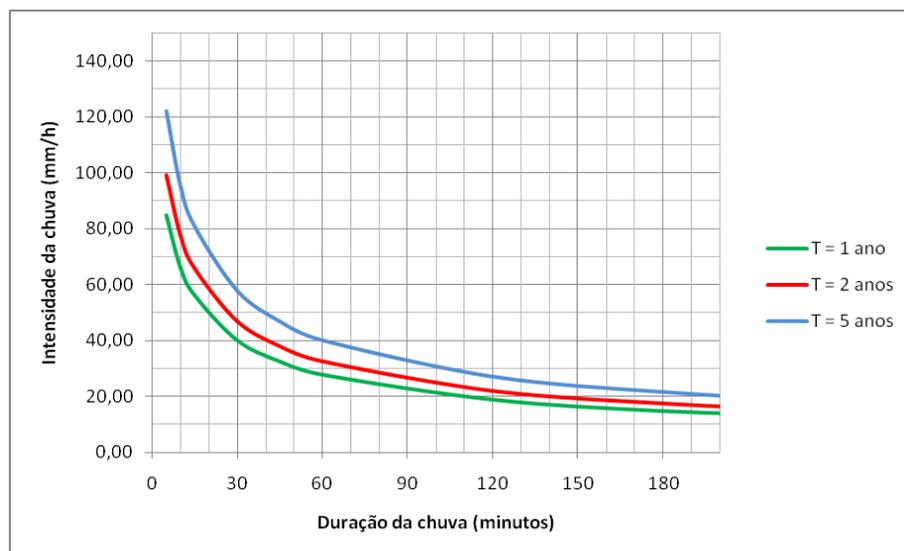


Figura 4 – Gráfico da Intensidade x Duração para os tempos de retorno de 01, 02 e 05 anos.

### Resultado das simulações

A partir dos tempos de retorno de 1, 2 e 5 anos e simulações empregando chuvas com duração de 30, 60, 120 e 180 minutos, aplicados para os diferentes cenários, foram obtidos os pontos de falha do sistema de drenagem. Sendo este, definido como uma situação em que não é possível captar o fluxo escoado devido às pequenas dimensões dos dispositivos de captação, quando comparado com o volume a ser captado.

Durante a simulação do modelo é possível gerar mapas de inundação e perfis de rede a cada intervalo de tempo sugerido pelo usuário, permitindo conhecer de forma instantânea o comportamento do sistema de drenagem. Foi escolhida, para cada cenário, uma simulação representando bem os pontos problemáticos do sistema estudado. Essa escolha foi baseada no tempo de retorno de 5 anos, que são os valores de risco usualmente aplicados nos projetos de drenagem urbana de regiões com predominância de prédios públicos.

### Cenário 1 – Situação Atual

De acordo com os dados da Tabela 7, são observadas falhas no sistema atual. O que comprova a fragilidade do sistema de drenagem existente no campus. Para a simulação com tempo de retorno de 5 anos e duração de chuva de 180 minutos o gráfico de intensidade x duração (Figura 4) estima uma intensidade de precipitação de 21,44 mm/h.

A Figura 5 apresenta o perfil do trecho da rede drenante em que houve pontos de falha. Estas falhas (indicadas pelos círculos vermelhos) foram registradas durante a ocorrência das chuvas.

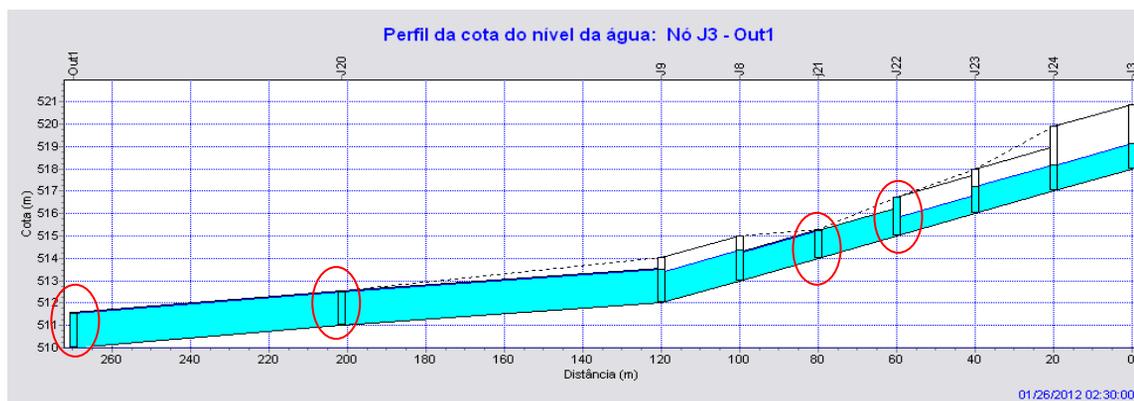


Figura 5 –Trecho da rede de drenagem com 4 pontos de falhas.

Pode ser visto que o fluxo, representado pela cor azul clara, escoo nos condutos. Mas, em alguns momentos, devido ao total preenchimento da seção do conduto, forma-se uma coluna de fluxo nos nós (poços de visita e bocas de lobo). Essa coluna gera pressão para a rede aumentando sua capacidade de transporte. A falha do sistema ocorre quando a coluna de fluxo atinge alturas superiores à altura do nó. A linha contínua é gerada a partir da ligação da altura da coluna d'água gerada em cada nó e a linha tracejada é formada a partir da cota piezométrica de cada nó. Para esta precipitação o sistema de drenagem apresentou 4 pontos de falha causados pela seção insuficiente das galerias com relação à vazão a ser captada.

Tabela 7- Resultados do Cenário 1 com sistema de drenagem atual.

<b>1 ANO</b>	Intensidade (mm/h)	40,13	27,75	18,79	14,88
	Duração (min)	30	60	120	180
	Pontos de Falha	0	0	1	1
<b>2 ANOS</b>	Intensidade (mm/h)	46,97	32,48	21,99	17,41
	Duração (min)	30	60	120	180
	Pontos de Falha	1	1	2	1
<b>5 ANOS</b>	Intensidade (mm/h)	57,83	39,99	27,08	21,44
	Duração (min)	30	60	120	180
	Pontos de Falha	3	4	4	4

A Figura 6 apresenta o mapa de inundação da bacia logo após a ocorrência da precipitação. O mapa representa o escoamento superficial das sub-bacias através da escala cores.

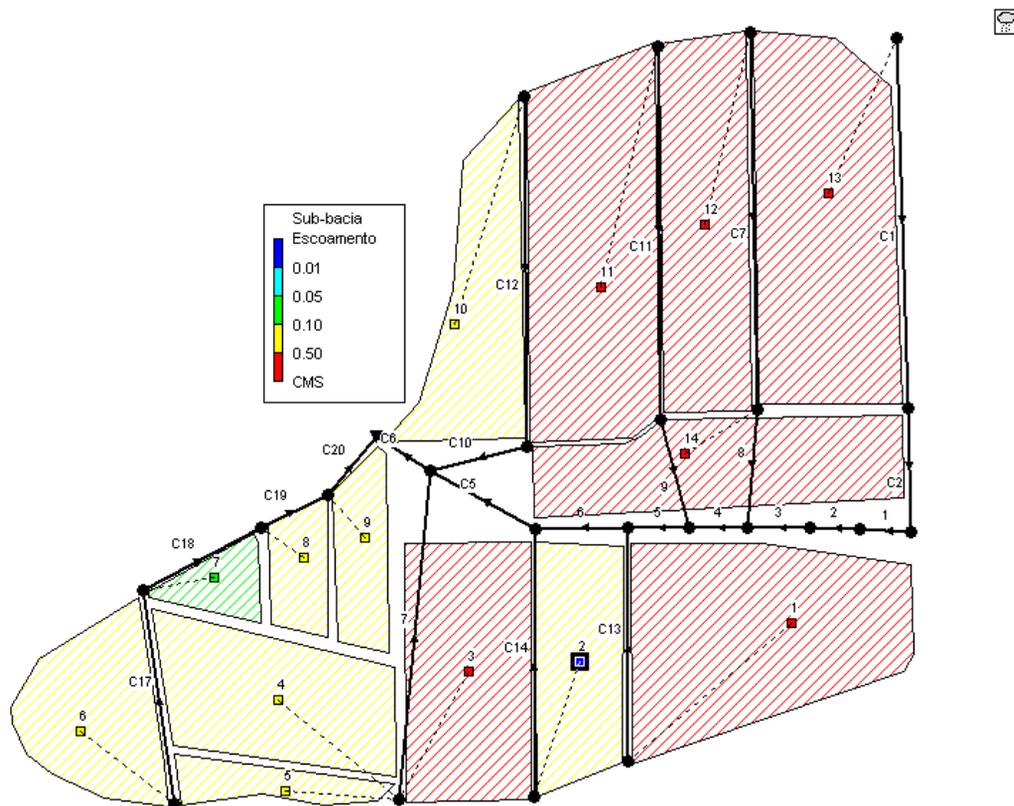


Figura 6– Mapa de inundação do cenário 1 após a precipitação com intensidade de 21,44 mm/h e duração de 180 minutos.

É possível verificar no mapa que das 14 sub-bacias que compõe a área de estudo 6 apresentam escoamento superficial com lâmina superior a 12,70 mm (0,50 in). Estas áreas estão representadas em vermelho no mapa e correspondem a 42,86% da área total da bacia. Das 8 sub-bacias restantes 7 apresentam escoamento superficial entre 2,54 mm (0,10 in) e 12,70 mm (0,50 in), 1 apresentou escoamento superficial entre 1,27 mm (0,05 in) e 2,54 mm (0,10 in).

Após o encerramento da precipitação inicia-se a recuperação natural da bacia com relação às inundações. A Figura 7 mostra mapa de inundação da bacia após 30 minutos do encerramento da precipitação. Pode ser visualizado que grande parte das sub-bacias apresenta escoamentos superficiais entre 1,27 mm (0,01 in) e 12,70 mm (0,5 in).

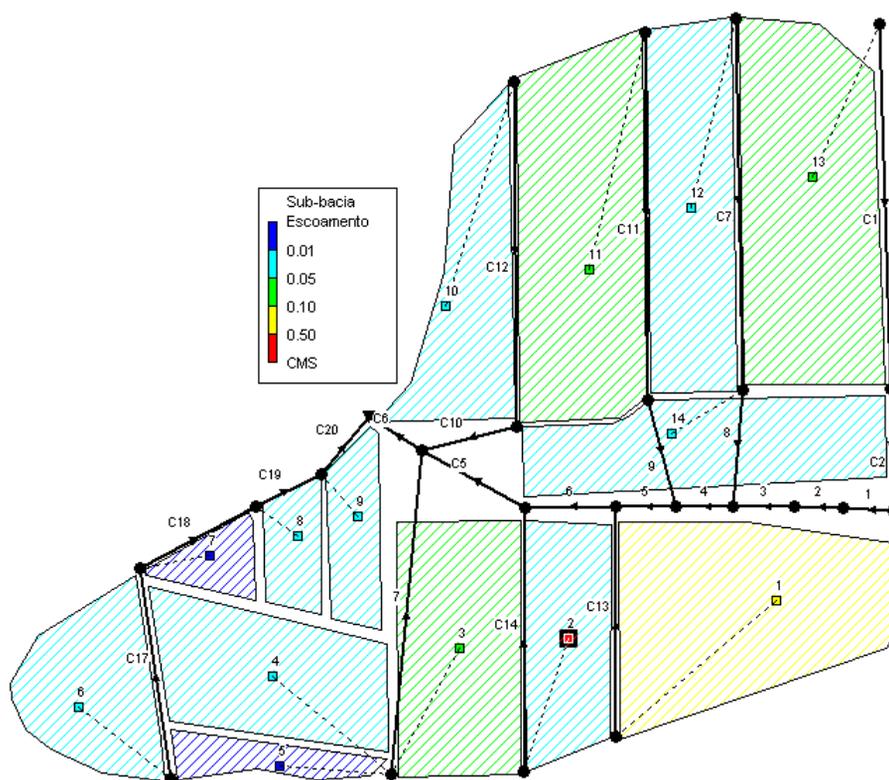


Figura 7 – Mapa de inundação do cenário 1, 30 minutos após o encerramento da chuva de 21,44 mm/h

### Cenário 2 – Aumento de 20% de área permeável

Com esse cenário é notada de acordo com a Tabela 8 a diminuição de pontos de falha na bacia para os tempos de retorno de 2 e 5 anos, quando comparada com os valores da Tabela 7 (Cenário 1), comprovando uma melhoria no sistema em relação situação atual. A Figura 8 apresenta o trecho da rede de drenagem com três pontos de falha representando uma redução de 25% em relação ao Cenário 1.

Tabela 8- Resultados do Cenário 2 com sistema de drenagem 20% mais permeável

<b>1 ANO</b>	Intensidade (mm/h)	40,13	27,75	18,79	14,88
	Duração (min)	30	60	120	180
	Pontos de Falha	0	0	1	1
<b>2 ANOS</b>	Intensidade (mm/h)	46,97	32,48	21,99	17,41
	Duração (min)	30	60	120	180
	Pontos de Falha	0	0	1	1
<b>5 ANOS</b>	Intensidade (mm/h)	57,83	39,99	27,08	21,44
	Duração (min)	30	60	120	180
	Pontos de Falha	1	3	2	3

A redução de 20% das áreas impermeáveis na região de estudo pode ser obtida através da criação ou ampliação de zonas e áreas verdes e da utilização de pisos permeáveis substituindo os convencionais com o intuito

de facilitar a infiltração das águas pluviais na bacia e reduzir o escoamento superficial e a sobrecarga no sistema de drenagem. Estas ações tem a desvantagem de gerar mais custo para instituição, que poderia ser solucionados a partir de uma política orçamentária bem planejada, e transtornos de implementação sendo esses minimizados se as obras fossem realizadas no período de férias dos alunos.

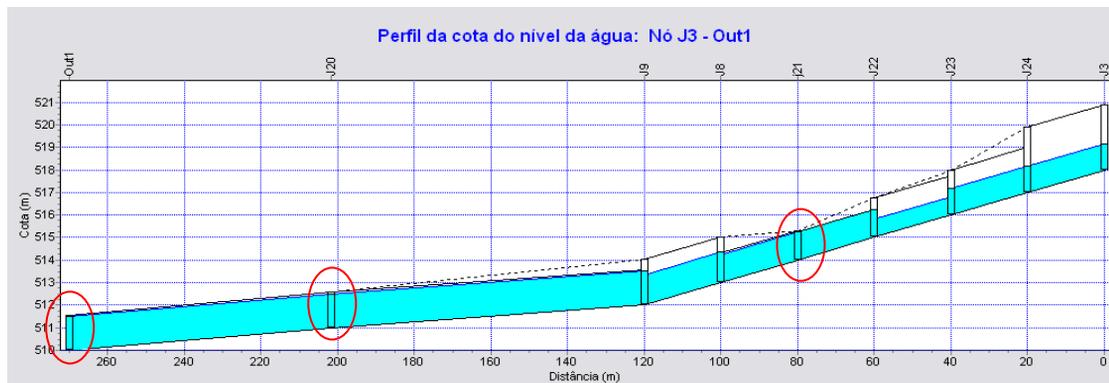


Figura 8 - Trecho da rede de drenagem com 3 pontos de falhas.

### Cenário 3 – Melhoria da rede de drenagem

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos para o Cenário 3. Quando comparados com os resultados dos Cenários 1 e 2, apresentados nas Tabelas 7 e 8 respectivamente pode-se perceber melhorias no funcionamento do sistema. No entanto, ainda não é resolve completamente os problemas associados ao sistema, principalmente para o tempo de retorno de 5 anos, como mostra o trecho do perfil da rede de drenagem (Figura 9). Esse resultado provavelmente está associado ao possível subdimensionamento do projeto que, de acordo com a prefeitura local, foi feito no ano de 2008, ou ainda, devido o fato do canal não substituir de forma completa o riacho.

Tabela 9- Resultados do Cenário 3 com sistema de drenagem modificado

<b>1 ANO</b>	Intensidade (mm/h)	40,13	27,75	18,79	14,88
	Duração (min)	30	60	120	180
	Pontos de Falha	0	0	0	0
<b>2 ANOS</b>	Intensidade (mm/h)	46,97	32,48	21,99	17,41
	Duração (min)	30	60	120	180
	Pontos de Falha	0	0	1	0
<b>5 ANOS</b>	Intensidade (mm/h)	57,83	39,99	27,08	21,44
	Duração (min)	30	60	120	180
	Pontos de Falha	1	2	1	2

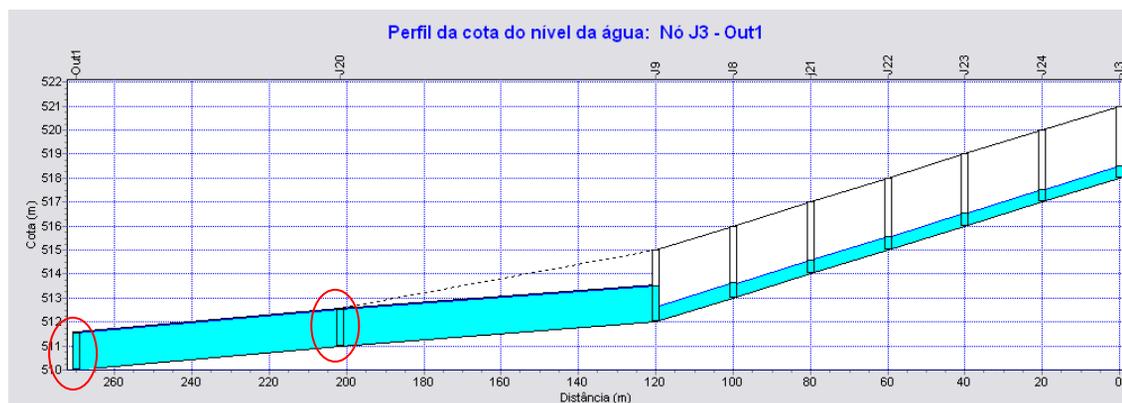


Figura 9 –Trecho da rede de drenagem com 2 pontos de falhas.

De acordo os resultados obtidos nas simulações, tem-se o Cenário 3 como o que mais se aproxima de um sistema ideal de águas pluviais para a bacia, apesar de ainda apresentar pontos de falhas, principalmente no trecho onde não está previsto para ser construído o canal, entre os condutos J20 e Out1 (Figura 9). Essa questão que pode ser solucionada sendo realizado um novo dimensionamento para o canal ou ainda a implementação do mesmo de forma completa na área de estudo.

## CONCLUSÃO

Após a simulação dos cenários pode-se concluir que o sistema de drenagem atual da UFCG representado pelo Cenário 1 não é satisfatório para atender as condições atuais da universidade necessitando de medidas estruturais e não estruturais para aumentar sua eficiência. Na prática, tanto a implementação do Cenário 2 (maximização da área permeável em 20%) quanto do Cenário 3 (modificação de parte da rede de drenagem) trariam resultados positivos em relação ao sistema atual.

Para implementação do Cenário 2 a prefeitura da Universidade teria que substituir parte dos materiais utilizados nas calçadas e rotas de pedestres e nos arredores das edificações já construídas por pavimentos permeáveis, solo com vegetação, outra opção seria a de reter e reutilizar no próprio lote o volume precipitado equivalente a parcela que deveria infiltrar no solo.No que diz respeito a legislação, caberia ao poder público federal criar resoluções que exigissem o percentual de área impermeável por lote construído, neste caso a instituição teria obrigação de adequar seus lotes às novas exigências.

Com relação à implementação do Cenário 3, haveria a necessidade de novos estudos para avaliar a eficácia do projeto atual, uma vez que o mesmo data do ano de 2008, e sua possível ampliação para atender mais satisfatoriamente as necessidades do sistema de drenagem.

Deve-se destacar também a necessidade de realização as medidas preventivas, como por exemplo, a conscientização da comunidade universitária com relação ao lançamento de lixo diretamente nas galerias e nas ruas e que acabam escoando para dentro do sistema de drenagem e a limpeza periódica da rede, por parte da

prefeitura. Com essas medidas é possível desobstruir o sistema de drenagem e aumentar o volume captado de escoamento, contribuindo de forma eficaz na redução dos pontos de alagamento no Campus.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida ao primeiro autor.

## BIBLIOGRAFIAS

- ARAGÃO, R. et al. Chuvas Intensas na Paraíba. In: V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal-RN, 2000.
- GARCIA, J. I. B. (2005) *Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia Hidrográfica do Arroio Cancela*. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. 169 p.
- HUBER, W.C.; DICKINSON, R.E. (1992) *Storm Water Management Model: Version 4: User's Manual*. Athens: U.S. Environmental Protection Agency. Georgia.
- JAMES, W.; HUBER, W. C.; DICKINSON, R. E.; PITT, R. E.; JAMES, W. R. C.; ROSENER, L. A.; ALDRICH, J. A. (2003). *User's Guide to SWMM*, publicado por CHI, Guelph, Ontario, Canada.
- MAKSIMOVIC, C. (2001) “*General Overview of Urban Drainage Principles and Practice*”. Urban Drainage in Specific Climates (IHP-V-Technical Documents in Hydrology). Paris: UNESCO, Vol.1, n.40, p.1-21.
- MELLER, A e PAIVA, E. M. C. D (2004). *Comparação entre metodologias de simulação de inundações em redes de drenagem pluviais a uma pequena bacia hidrográfica em urbanização*. XXI CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE HIDRÁULICA. São Pedro/SP. MOORE, R. J. NETO, A.C. Sistemas urbanos de drenagem. Disponível em [http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao\\_a\\_drenagem\\_urbana.pdf](http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf) > Acesso em Fevereiro/2012.
- Ministério da Integração Nacional (2005). Plano Estratégico de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido. Brasília (DF).
- NETO, A C. Sistemas urbanos de drenagem. Disponível no site ana.gov.br, acessado em setembro de 2006.
- PAIXÃO, F.J.R.; ANDRADE, A.R.S.; AZEVEDO, C.A.V.; SILVA, J.M.S.; COSTA, T.L.; FEITOSA, R.M. Estimativa da infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v.5, n.1, 2004
- PORTO, R. KAMEL Z. F., TUCCI, C. e BIDONE F.(2007). *Drenagem Urbana*. In: TUCCI, Carlos E. M., [et al.]. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4ª ed., Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH.
- ROSSMAN, L. A. (2007) - *Storm Water Management Model, Version 5: User's Manual*. U.S Environmental Protection Agency. Cincinnati, OH United States.
- TUCCI, C. E. M. (2001) *Hidrologia. Ciência e Aplicação*. EDUSP, São Paulo-SP.

TUCCI, C. E. M. (2005) *Gestão de águas pluviais urbanas*. Ministério das Cidades - Global Water Partnership - World Bank – Unesco.

TUCCI, C. E. M. e BERTONI, J. C. (2003) *Inundações urbanas na América do Sul*. ABRH-Ed. UFRGS. Porto Alegre-RS, 2003.