

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
ESCOLA DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
EM ENGENHARIA DO MEIO AMBIENTE

NAYDA ROCHA

**PLANEJAMENTO URBANO DA BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA
(GOIÂNIA - GO) UTILIZANDO O SWMM – *STORM WATER*
*MANAGEMENT MODEL***

Goiânia – GO

2013

NAYDA ROCHA

**PLANEJAMENTO URBANO DA BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA
(GOIÂNIA - GO) UTILIZANDO O SWMM – *STORM WATER*
*MANAGEMENT MODEL***

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente.

Área de Concentração: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. José Vicente Granato de Araújo, Ph.D.

Co-orientadora: Prof. Dra. Karla Emmanuela Ribeiro Hora.

Goiânia – GO

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(GPT/BC/UFG)

R672p Rocha, Nayda.
Planejamento urbano da bacia do Córrego Samambaia (Goiânia - GO) utilizando o SWMM – Storm Water Management Model [manuscrito] / Nayda Rocha. – 2013.
xv, 90 f.: il., figs., qds., tabs.

Orientador: Prof. José Vicente Granato de Araújo, Ph.D.; Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Karla Emmanuela Ribeiro Hora.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2013.

Bibliografia: f.72-77.

Inclui lista de figuras, quadros e tabelas, abreviaturas e siglas.

Apêndices.

1. Bacia hidrográfica – Samambaia, Córrego. 2. Ocupação urbana – Goiânia (GO). 3. Modelagem hidrológica – Samambaia, Córrego. 4. Planejamento urbano – Goiânia (GO). I. Título.

CDU:556.51(817.3)

Termo de Ciência e de Autorização para Disponibilizar as Teses e Dissertações Eletrônicas (TEDE) na Biblioteca Digital da UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás-UFG a disponibilizar gratuitamente através da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações – BDTD/UFG, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou *download*, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

1. Identificação do material bibliográfico: ☒ **Dissertação** ☐ **Tese**

2. Identificação da Tese ou Dissertação

Autor(a):		NAYDA ROCHA	
CPF:	017.141.771-22	E-mail:	nayda.rocha@gmail.com
Seu e-mail pode ser disponibilizado na página? ☒ Sim ☐ Não			
Vínculo Empregatício do autor		-	
Agência de fomento:		Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior	Sigla: CAPES
País:	Brasil	UF:	GO
		CNPJ:	08.156.102/0001-02
Título:	Planejamento urbano da bacia do Córrego Samambaia (Goiânia - GO) utilizando o SWMM - <i>Storm Water Management Model</i> .		
Palavras-chave:	Bacia hidrográfica, Ocupação urbana, Modelagem hidrológica, Planejamento urbano.		
Título em outra língua:	Urban planning of Córrego Samambaia Basin (Goiania - GO) using SWMM - Storm Water Management Model.		
Palavras-chave em outra língua:	River basin, Urban occupation, Hydrologic modeling, Urban planning.		
Área de concentração:	Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental		
Data defesa:	09/08/2013		
Programa de Pós-Graduação:	Programa de Pesquisa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente - PPGEMA		
Orientador:	E-mail:		
José Vicente Granato de Araújo	jvgranato@yahoo.com.br		
Co-orientadora:	E-mail:		
Karla Emmanuela Ribeiro Hora	karlaemmanuela@gmail.com		

3. Informações de acesso ao documento:

Liberação para disponibilização? ☒ total ☐ parcial

O Sistema da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações garante aos autores, que os arquivos contendo eletronicamente as teses e ou dissertações, antes de sua disponibilização, receberão procedimentos de segurança, criptografia (para não permitir cópia e extração de conteúdo, permitindo apenas impressão fraca) usando o padrão do Acrobat.

Assinatura do(a) autor(a)

Data: ____ / ____ / 2013

NAYDA ROCHA

**PLANEJAMENTO URBANO DA BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA
(GOIÂNIA - GO) UTILIZANDO O SWMM – *STORM WATER*
*MANAGEMENT MODEL***

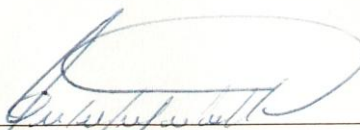
Dissertação apresentada para obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Meio Ambiente no Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás, defendida e aprovada no dia 09 de agosto de 2013 pela seguinte Banca Examinadora:



Prof. José Vicente Granato de Araújo, Ph.D.
Presidente da Banca – UFG



Prof. Dr. Klebber Teodomiro Martins Formiga
Examinador interno – UFG



Prof. Dr. Antonio Pasqualetto
Examinador externo – PUC GOIÁS e IFG

Dedico esta dissertação aos anjos da minha vida, meus pais Djalma e Benedita, pelo imensurável amor e exemplo de perseverança, coragem e incansável incentivo aos estudos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo amor, saúde e por todas as oportunidades oferecidas durante a minha vida, porque ele sempre esteve presente.

À minha família, principalmente pais, irmã e namorado, por compreenderem minha ausência e fortalecerem minhas energias nos momentos de dificuldade.

Aos meus orientadores e professores José Vicente Granato, Karla Emmanuela e Klebber Formiga meus sinceros agradecimentos por todos os ensinamentos e orientações. Não teria chegado até aqui sem o apoio e colaboração de vocês.

Aos amigos do PPGEMA Natalia, Victor e Anselmo pelo tempo destinado ao auxílio na confecção dos mapas e na aplicação do modelo hidrológico. Vocês são muito especiais!

A todos os colegas do PPGEMA pela amizade, convivência, descontração e sugestões prestadas. Sentirei muitas saudades!

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos durante os dois anos de mestrado.

Àqueles que por algum descuido não foram citados, mas que muito contribuíram para a realização deste trabalho.

A todos, meus sinceros agradecimentos!

*“Cada dia a natureza produz o suficiente para nossas necessidades.
Se cada um tomasse o que lhe fosse necessário,
não haveria pobreza no mundo e ninguém morreria de inanição.”*
(Mohandas Karamchand Gandhi)

ROCHA, Nayda. **Planejamento urbano da bacia do Córrego Samambaia (Goiânia - GO) utilizando o SWMM - Storm Water Management Model**. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente – PPGEMA), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás – UFG, Goiânia, 2013.

RESUMO

O efeito da urbanização e a insuficiente fiscalização do uso dos recursos naturais pelo poder público têm provocado crescente degradação do meio ambiente no Brasil. Isto pode ser constatado na supressão da vegetação ciliar, indispensável para a sobrevivência e manutenção da qualidade dos mananciais. Neste sentido, as ações de parcelamento do solo, provisão habitacional e saneamento no país devem ter, entre outros objetivos, o de assegurar um meio ambiente favorável aos ecossistemas e à vida humana. Esta dissertação teve como objetivo principal identificar as características de ocupação da bacia hidrográfica do Córrego Samambaia em Goiânia, utilizada para abastecimento público de água, correlacionando o uso do solo com os processos hidrológicos. A metodologia adotada consistiu em: identificar o referencial teórico a partir de pesquisa bibliográfica e escolher uma bacia para estudo de caso; selecionar e reunir informações do objeto de estudo contidas em documentos publicados, textos restritos, imagens de satélite, visitas *in loco*, para a geração dos dados necessários para realizar a modelagem; e aplicar o modelo hidrológico *Storm Water Management Model* (SWMM) em três períodos distintos e outros três cenários propostos para se conhecer as respostas hidrológicas na área de estudo frente a diferentes níveis de intervenção e ocupação urbana. Os resultados obtidos com esta pesquisa indicam que a bacia pode apresentar grandes variações hidrológicas caso o processo de impermeabilização continue aumentando. Com relação ao escoamento superficial na bacia, entre 1992 (com área impermeável de 7%) e o Cenário 3 proposto (com área impermeável de 70%) o aumento é de aproximadamente 24 vezes enquanto no mesmo período a infiltração tornou-se 70% menor. Se a bacia obtiver um índice maior que 50% de área impermeável, provavelmente irá se tornar inviável ao abastecimento público. Para que ela continue abastecendo o município, propõe-se neste estudo um planejamento urbano adequado, com a construção de um Parque Linear ao longo do córrego e a adoção de novos índices de ocupação urbana. Este modelo de planejamento poderá ser utilizado em outras bacias urbanas, levando em consideração as características de cada local.

Palavras chave: Bacia hidrográfica, Ocupação urbana, Modelagem hidrológica, Planejamento urbano.

ROCHA, Nayda. **Urban planning of Córrego Samambaia Basin (Goiânia - GO) using SWMM - Storm Water Management Model**. Master Thesis (Environmental Engineering Graduate Program - PPGEMA), School of Civil Engineering, Federal University of Goiás – UFG, Goiânia, 2013.

ABSTRACT

The effect of urbanization and insufficient supervision of the use of natural resources by the government has led to increasing degradation of the environment in Brazil. This can be seen by the suppression of riparian vegetation, which is essential for the survival and maintenance of the quality of water sources. In this sense, the actions of development of land, housing provision and sanitation in Brazil must have, among other objectives, to ensure an environment conducive to ecosystems and human life support. This research aimed to identify the characteristics of occupation of Córrego Samambaia Basin in Goiânia, used for public water supply, correlating land use with hydrological processes. The methodology adopted consisted in: identifying the theoretical framework from literature and choose a basin to develop a case study; select and gather information from the object of study contained in published documents, restricted texts, satellite imagery, site visits, to generate the necessary data for modeling, and apply the hydrologic model Storm Water Management Model (SWMM) in three distinct periods and three proposed scenarios to understand the hydrological responses in the study area due to different levels of human occupation. The results obtained with this research indicate that the hydrological watershed responses can vary widely if the waterproofing process continue to increase. Results shown that between 1992 (with impervious area of 7%) and the proposed Scenario 3 (with impervious area of 70%) the increase in runoff is approximately 24 times while the infiltration becomes 70% smaller. If the basin achieves an index greater than 50% of impervious area, it will probably become unviable for public supply purposes. In order to preserve the watershed for its main purpose to continue supplying the municipality this study proposes an appropriated urban planning, with the construction of a Linear Park along the creek and the adoption of new levels of urban occupation. This planning model may be used in other urban basins, taking into account the characteristics of each site.

Keywords: River basin, Urban occupation, Hydrologic modeling, Urban planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 –	População residente por situação de domicílio no Brasil (1940/2010)	21
Figura 2.2 –	Efeito da urbanização no balanço hídrico	22
Figura 2.3 –	Fluxograma dos processos decorrentes da urbanização e seus impactos ..	23
Figura 2.4 –	Reconhecimento do ambiente físico de uma bacia hidrográfica	26
Figura 2.5 –	Características relacionadas ao traçado urbano das ruas que afetam a metragem linear do pavimento impermeável	29
Figura 3.1 –	Esquema analítico da metodologia adotada para este estudo	38
Figura 3.2 –	Localização da bacia do Córrego Samambaia em Goiânia	39
Figura 3.3 –	3 Cenários para a bacia do Córrego Samambaia	42
Figura 3.4 –	Esquema analítico do modelo SWMM	43
Figura 3.5 –	Sub-bacias do Córrego Samambaia	45
Figura 3.6 –	Padrão construtivo nos loteamentos da bacia (Residencial Orlando de Moraes)	47
Figura 3.7 –	Hietograma para uma precipitação de projeto de 249 minutos, referente ao tempo de concentração da bacia de estudo	49
Figura 3.8 –	Representação da área de estudo no modelo SWMM	50
Figura 3.9 –	Dados inseridos para cada nó e conduto no modelo SWMM	51
Figura 3.10 –	Dados inseridos para cada sub-bacia e série temporal no modelo SWMM	51
Figura 4.1 –	Loteamentos na bacia do Córrego Samambaia	53
Figura 4.2 –	Áreas impermeáveis em 1992 na bacia do Córrego Samambaia	54
Figura 4.3 –	Áreas impermeáveis em 2002 na bacia do Córrego Samambaia	55
Figura 4.4 –	Áreas impermeáveis em 2012 na bacia do Córrego Samambaia	56
Figura 4.5 –	Hidrograma da bacia do Córrego Samambaia para uma chuva de 249 min	60
Figura 4.6 –	Efeito da urbanização no balanço hídrico da bacia do Córrego Samambaia para uma chuva de 249 min	61
Figura 4.7 –	Vulnerabilidade das sub-bacias do Córrego Samambaia	62
Figura 4.8 –	Proposta de ocupação para a bacia do Córrego Samambaia	64
Figura 4.9 –	Parque Linear	65
Figura 4.10 –	<i>Playground</i>	66

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 2.1 –	Densidade habitacional e área impermeável	22
Tabela 2.2 –	Impacto da urbanização no aumento da vazão e do escoamento superficial	24
Quadro 2.1 –	Escoamento em terrenos com declividades diversas	29
Tabela 3.1 –	Dados utilizados para análise do uso e ocupação do solo na bacia do Córrego Samambaia	40
Tabela 3.2 –	Dados populacionais do CENSO (1991, 2000 e 2010)	41
Tabela 3.3 –	Áreas impermeáveis na bacia do Córrego Samambaia	42
Tabela 3.4 –	Caracterização da bacia do Córrego Samambaia	44
Tabela 3.5 –	Características das sub-bacias para a modelação no SWMM	45
Tabela 3.6 –	Área Impermeável e CN de cada período de estudo	46
Tabela 3.7 –	Coeficiente de rugosidade de <i>Manning</i> e capacidade de armazenamento em depressões para a modelação no SWMM	47
Quadro 4.1 –	Ações impactantes identificadas na bacia do Córrego Samambaia e medidas mitigadoras	57
Tabela 4.1 –	Resultados obtidos no modelo SWMM para uma chuva de 249 min	59
Quadro 4.2 –	Equipamentos a serem implantados ao longo do Parque Municipal	66
Quadro 4.3 –	Equipamentos públicos que serão implantados nas áreas remanescentes	67
Quadro 5.1 –	Medidas de planejamento a curto, médio e longo prazo na bacia do Córrego Samambaia	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Δt	intervalo de discretização
APP's	Áreas de Proteção Permanente
BMPs	Boas Práticas de Manejo
COMDATA	Companhia de Processamento de Dados do Município de Goiânia
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
E	exutório
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
f	fração da área impermeável da bacia em estudo
h	horas
H	desnível máximo
ha	hectares
hab/ha	habitantes por hectare
HEC-HMS	<i>Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System</i>
i	intensidade pluviométrica
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
i-d-f	intensidade-duração-frequência
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
km ²	quilômetros quadrados
L	comprimento do curso d'água
m	metros
m ²	metros quadrados
m ³ /s	metros cúbicos por segundo
m ³	metros cúbicos
m/m	metros a cada 1 metro
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
min	minutos
mm	milímetro
mm/h	milímetros por hora
MOUSE	<i>Modelling of Urban Sewer</i>
MUBDG	Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia

n	Coeficiente de rugosidade de <i>Manning</i>
N	nó
n°	número
P'	precipitação total
Pe	precipitação efetiva ou escoamento direto/acumulado
PLUV	pluviômetro
S	retenção potencial do solo
SANEAGO	Saneamento de Goiás S.A.
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SWMM	<i>Storm Water Management Model</i>
t	duração da precipitação
T	período de retorno
tc	tempo de concentração

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 OCUPAÇÃO URBANA EM GOIÂNIA	19
2.2 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NOS RECURSOS HÍDRICOS	20
2.3 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO URBANO	25
2.4 DESENHO URBANO E OS CURSOS D'ÁGUA	28
2.5 HIDROLOGIA E O DESENVOLVIMENTO URBANO	29
2.6 MODELAGEM HIDROLÓGICA	32
2.6.1 Importância da modelagem	33
2.6.2 Modelo hidrológico SWMM (<i>Storm Water Management Model</i>)	35
3 METODOLOGIA	38
3.1 LOCALIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	39
3.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA NOS ÚLTIMOS 20 ANOS	40
3.3 APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO SWMM (<i>STORM WATER MANAGEMENT MODEL</i>)	43
3.3.1 Aspectos físicos da bacia do Córrego Samambaia	44
3.3.2 Discretização da bacia do Córrego Samambaia em sub-bacias ...	44
3.3.3 Modelos de infiltração e de propagação de fluxo	46
3.3.4 Coeficiente de rugosidade de <i>Manning</i> e capacidade de armazenamento em depressões	46
3.3.5 Precipitação de projeto e Precipitação efetiva	47
3.3.6 Hietogramas	49
3.3.7 Modelação das sub-bacias no SWMM	50
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1 EVOLUÇÃO URBANA NA BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA	53
4.2 RESULTADOS DA MODELAÇÃO NO SWMM DA BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA	59
4.3 VULNERABILIDADE HIDROLÓGICA DAS SUB-BACIAS DO CÓRREGO SAMAMBAIA	61
4.4 PLANEJAMENTO URBANO PARA A OCUPAÇÃO DA BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA	63
5 CONCLUSÃO/RECOMENDAÇÕES	69
REFERÊNCIAS	72
APÊNDICES	78
APÊNDICE A – Dados de entrada da chuva de 249 min (Tempo de retorno de 5 anos)	79
APÊNDICE B – Resultados obtidos na simulação do modelo SWMM	85

1 INTRODUÇÃO

Durante séculos a humanidade utilizou a água de forma predatória e insustentável, considerando-a como um recurso inesgotável (GALINDO & FURTADO, 2006). Nesse contexto o rio aparece, dentre os elementos naturais, como o que há mais tempo participa do espaço humanizado, vinculando-se à própria formação dos territórios e à fundação da maior parte das cidades do mundo. Fato que o caso brasileiro vem confirmar, desde as aldeias indígenas às grandes aglomerações urbanas (BARTALINI, 2009).

Segundo Werna *et al.* (2004), a partir da metade do século XIX até 1930, o Brasil viveu a emergente e inicial expansão do capitalismo. Embora a base da economia ainda fosse rural, as atividades industriais nas áreas urbanas se expandiram e a urbanização começou a tomar dimensões significativas a partir da década de 1950, quando a população urbana obteve alto índice de crescimento em decorrência do êxodo rural.

Desde então, o mau uso dos mananciais, a poluição gerada nas cidades e a retirada da cobertura vegetal causam um rápido processo de degradação dos cursos d'água. Isso acontece porque o processo de urbanização modifica a paisagem, alterando as respostas hidrológicas destas localidades, entre elas o aumento do escoamento superficial, a diminuição da infiltração e da recarga dos aquíferos, além do comprometimento dos sistemas de drenagem existentes (FONTES & BARBASSA, 2001).

Para Tucci (2000), o processo de desenvolvimento urbano desordenado pode inviabilizar os mananciais do ponto de vista do abastecimento público, tendo como consequência a necessidade de buscar outras captações, cada vez mais distantes, e os tratamentos de água e esgotos se tornam cada vez mais intensos e onerosos.

Isso acontece porque existe a alteração da qualidade dos corpos d'água em meios urbanizados, considerando que a maioria dos dejetos da cidade é direcionada para eles e que a produção de sedimentos é intensificada pelas obras e construções, acelerando o processo de assoreamento dos rios, além de que grande quantidade de lixo sólido acaba chegando aos mananciais. Ou seja, a proteção do manancial e o estudo aprofundado de suas características são tão importantes quanto os processos de tratamento das águas para o abastecimento, porque o rio só será viável ao abastecimento se houver a manutenção de seus ecossistemas naturais (VITO, 2007).

Estudos indicam que o crescimento da demanda por água para usos diversos poderá deixar de ser atendida em consequência da redução e contaminação das fontes. A necessidade de garantir principalmente o abastecimento público, a irrigação e a produção de

energia hidroelétrica, acaba comprometendo a preservação e armazenamento adequado deste recurso (HELLER & PÁDUA, 2006).

Diante deste contexto fica clara a importância do planejamento urbano na questão dos recursos hídricos: propor diretrizes para uma expansão e desenvolvimento adequados da cidade, considerando-se tanto os aspectos econômicos e sociais, quanto principalmente os recursos naturais existentes nos territórios.

E para a conservação do meio ambiente urbano, os municípios contam com um instrumento importantíssimo: o Plano Diretor. Galindo e Furtado (2006) confirmam que a delimitação dos parâmetros urbanísticos e definições de uso do solo contidas no Plano Diretor devem ser colocadas em prática pelas gestões a fim de promover usos compatíveis com a proteção ambiental.

Apesar dos benefícios deste modelo, percebe-se que os espaços regulados e alcançados pela gestão pública são aqueles dotados de infraestrutura, geralmente ocupados por um padrão socioeconômico elevado, o que na maioria das vezes não atende às demandas das classes mais baixas.

A gestão dos recursos hídricos no Brasil também enfrenta o desafio da construção de interfaces entre os instrumentos das políticas ambientais e as diretrizes das políticas urbanas que, até então, encontram-se segmentados (BATISTELA, 2007). Fato ocasionado porque na hierarquia do domínio das águas os rios estão sob a responsabilidade do Estado, enquanto a gestão do território é de competência do município, e esses poderes, na maioria dos casos, estão pouco integrados por diversos fatores.

Para que haja uma gestão efetiva dos cursos d'água Faria (2011) sugere que ela seja articulada com as normativas previstas nos Planos Diretores Municipais e Planos Estaduais, além de destacar a importância do zoneamento através da delimitação de bacias hidrográficas como unidades de gestão.

Mas enquanto as ações públicas continuam desconectadas, vários problemas vêm se consolidando nos grandes centros urbanos, onde o planejamento urbano surge tardiamente diante dos vários aspectos das cidades, deixando de ser um planejamento propriamente dito, tornando-se então medidas pontuais que não atendem aos problemas futuros das cidades.

Como se vê, são inúmeros os problemas ambientais relacionados à ocupação inadequada do solo, bem como os problemas gerados pelo planejamento inadequado e tardio nos municípios. Dessa forma, faz-se necessário planejar adequadamente o uso e manejo do espaço urbano, a longo prazo, com infraestrutura, parâmetros e condições que evitem ou minimizem os impactos nos rios decorrentes da impermeabilização dos solos urbanos.

Para tanto este estudo busca entender detalhadamente estes impactos e suas consequências nos processos naturais, a fim de propor soluções eficazes de planejamento urbano para uma determinada área de estudo.

Com o intuito de caracterizar uma determinada área quanto às suas respostas hidrológicas, propôs-se para este trabalho o uso da modelagem hidrológica. O modelo deve ser usado para se antecipar eventos futuros, para verificar os impactos da urbanização em uma bacia antes que ela ocorra e para elaboração de medidas preventivas (TUCCI, 1997).

E como a aplicação do modelo hidrológico acontece, em geral, em uma bacia hidrográfica, a área de estudo deste trabalho é uma bacia com características rurais, mas que como está na iminência dos perímetros urbanos, necessita de planos para uma ocupação futura satisfatória. Ou seja, para alcançar um esclarecimento das questões de planejamento urbano do panorama temático para o prático, existe a necessidade de um estudo de caso para se compreender fenômenos sociais e ambientais complexos. O estudo de uma determinada área permite uma investigação que preserva as características significativas dos eventos que acontecem no âmbito real.

Delimitou-se então para o estudo de caso deste trabalho a bacia hidrográfica do Córrego Samambaia, escolhida por suas características de ocupação e por sua importância para o município de Goiânia, salientando-se os seguintes aspectos:

- 1 Possui ponto de captação de água para o abastecimento público de parcela significativa da população (abastece o Campus II da Universidade Federal de Goiás e os bairros do entorno);
- 2 Faz parte de um dos sistemas hidrográficos mais importantes da região – a bacia do Rio Meia Ponte;
- 3 Está localizada em uma região ambientalmente frágil, com nascentes e terrenos íngremes;
- 4 Possui parte de sua área no limite da expansão urbana do município, mas está predominantemente em área rural;
- 5 É uma região que vem atraindo bastante à especulação imobiliária por ter grandes áreas não loteadas.

Para um manancial como o Córrego Samambaia, caso específico de proteção de um recurso hídrico com a função de abastecimento público, o uso e ocupação do solo que se desenvolvem na bacia de contribuição devem ser compatíveis com a manutenção e preservação do curso d'água, de forma que ele continue viável ao abastecimento mesmo com os futuros processos de expansão urbana. Portanto torna-se crucial a realização do estudo de

diferentes períodos e cenários urbanos, com ocupações e usos diversos do solo, para que haja uma compreensão de como o desenvolvimento urbano vem contribuindo, ao longo dos anos, para a degradação do manancial, e então definir o cenário mais adequado para a conservação ambiental.

Diante disso, o objetivo deste trabalho foi identificar as características de ocupação da bacia de abastecimento público de água, correlacionando o uso do solo com os processos hidrológicos, a partir da aplicação da ferramenta computacional *Storm Water Management Model* (SWMM) em três períodos distintos e outros cenários. A partir destes resultados foi possível propor um planejamento urbano adequado para a bacia do Córrego Samambaia, no município de Goiânia.

Os objetivos específicos deste estudo consistiram em:

- 1 Analisar as alterações no uso e ocupação do solo na bacia do Córrego Samambaia nos últimos 20 anos (1992 a 2012);
- 2 Definir cenários de ocupação da área para modelagem;
- 3 Aplicar o modelo hidrológico SWMM para obter os hidrogramas vazão/tempo nos períodos históricos escolhidos e cenários propostos no estudo;
- 4 Validar a aplicação do modelo hidrológico SWMM para a geração de informações e embasamento para futuras propostas de intervenções no planejamento urbano de bacias hidrográficas;
- 5 Rever os índices de áreas impermeáveis previstos em lei para a área de estudo;
- 6 Propor o planejamento urbano para futuras ocupações na bacia.

O capítulo a seguir apresenta a revisão dos principais conceitos e assuntos relacionados ao tema deste trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Visando proporcionar um embasamento teórico às discussões deste estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica contemplando os seguintes temas: ocupação urbana em Goiânia; impactos da urbanização nos recursos hídricos; bacia hidrográfica como unidade de planejamento urbano; desenho urbano e os cursos d'água; hidrologia e desenvolvimento urbano, e modelagem hidrológica.

2.1 OCUPAÇÃO URBANA EM GOIÂNIA

Silva (2000) afirma que o meio ambiente é considerado como conjunto de relações de ordem natural, artificial e cultural que propiciam o desenvolvimento equilibrado da vida. Deste modo abrange os aspectos: natural, artificial, cultural e do trabalho, que por sua vez influenciaram na escolha do local da nova capital do Estado de Goiás.

Além das alegações de que a Cidade de Goiás (antiga capital do Estado de Goiás) não podia crescer e se desenvolver por conta de sua localização na Serra Dourada, a exploração de ouro realizada na região começava a perder força econômica e o excesso de carbono de cálcio nas rochas tornava impotável a água dos poços locais, inviabilizando-a para o consumo humano (ADORNO, 2002). Dentre estes e outros motivos identificados por uma comissão, que inviabilizavam manter a capital na Cidade de Goiás, escolheu-se um novo sítio para a instalação da nova capital.

O traçado original do município de Goiânia, idealizado pelo arquiteto Atílio Corrêa Lima e dimensionado para 50.000 habitantes, adequou o desenho das vias às curvas de nível naturais do terreno, evitando grandes velocidades no percurso das águas pluviais (RIBEIRO, 2004).

Além disso, as avenidas Goiás, Anhangüera, Araguaia e Tocantins foram concebidas de modo a possuir de 50 a 30% de áreas de infiltração, constituídas por jardins, gramados e cobertos por cascalho, o que reduziria a quantidade de água na rede de drenagem gerada pela impermeabilização das edificações da nova urbe (ADORNO, 2002).

Em relação aos cursos d'água, o relatório de Atílio determinou a vedação de qualquer construção ou empreendimento agropecuário na cabeceira e nas proximidades do córrego Botafogo e do Capim Puba, e determinou a construção de vários parques e clubes com a finalidade de preservar a qualidade da água que iria abastecer Goiânia, bem como garantir ao meio ambiente uma adequada oferta de oxigênio (ADORNO, 2002).

Ribeiro (2004) destaca que Goiânia manteve seu crescimento urbano controlado até o início da década de 1950, pois até então só existiam os loteamentos propostos no Plano Diretor inicial. Mas a Lei Municipal n.176, aprovada pelo poder público em março de 1950, liberou a criação de novos loteamentos particulares, exigindo dos empreendedores apenas a locação e a abertura de vias. A partir deste momento, a cidade começou a se configurar conforme os interesses da especulação imobiliária: os particulares com as áreas centrais e mais valorizadas, e a população de baixa renda em áreas periféricas ou públicas, incluindo fundos de vale e áreas verdes.

A gestão pública ainda elaborou outras leis e planos na tentativa de reorganizar o território do município, mas a cidade começou a se expandir desordenadamente na direção Sul, enquanto loteamentos clandestinos proliferavam-se principalmente na região Norte e Noroeste de Goiânia.

Observa-se que, entre os anos de 1975 e 2002, Goiânia teve sua área urbana praticamente duplicada (SILVA *et al.*, 2005), e em grande parte destes loteamentos, com pouquíssimas exceções, a cobertura vegetal foi removida significativamente, na intenção de obter maior quantidade de lotes e garantir a maximização do investimento (TAKAOKA, 2006), reduzindo consideravelmente o tamanho das áreas verdes propostas por Atílio.

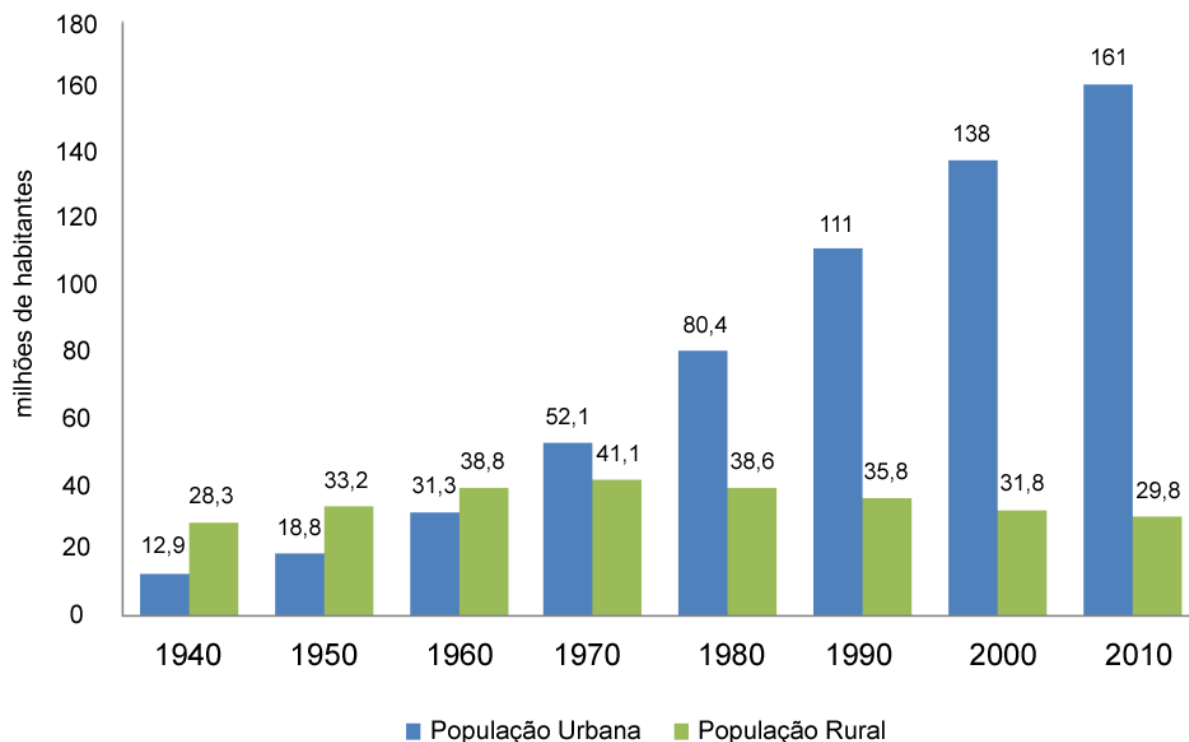
No mesmo caminho, as bacias e sub-bacias urbanas de Goiânia não são determinantes no processo de zoneamento municipal, sugerindo que as questões ambientais não têm sido relevantes no processo de planejamento urbano, que continua baseado no tradicional zoneamento normativo.

Na opinião de Peres (2010), a prática do zoneamento urbanístico tradicional tem sido utilizada com um caráter fundamentalmente econômico, limitando-se a índices de aproveitamento e taxas de ocupação do solo, acabando por contribuir no processo de degradação ambiental nas cidades.

2.2 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO NOS RECURSOS HÍDRICOS

O Brasil chegou ao final do século XX como um país urbano, em 2000 a população urbana ultrapassou 2/3 da população total, atingindo a marca de 138 milhões de pessoas. O último CENSO, em 2010, revelou um incremento ainda maior na população urbana, evolução que pode ser verificada na Figura 2.1.

Figura 2.1 – População residente por situação de domicílio no Brasil (1940/2010).



Fonte: Censo IBGE (2010).

Observa-se que este rápido crescimento da população nos centros urbanos brasileiros não foi acompanhado pelo crescimento e melhoria das infraestruturas urbanas. O comportamento dos habitantes, especuladores imobiliários e poder público, de modo geral, provocou a expansão da cidade para áreas de risco e assentamentos urbanos inadequados, causando vários impactos no meio ambiente, prejudicando por fim a qualidade de vida e manutenção dos ecossistemas existentes.

Para Colet (2012), o surgimento de empreendimentos em desacordo com as diretrizes urbanísticas previstas nas leis se deve a ineficácia das entidades fiscalizadoras e a imatura conscientização ambiental da sociedade.

Sendo assim, a multiplicação de novos loteamentos nas cidades é uma das ações humanas mais impactantes no meio ambiente local, pois além de ser de fácil disseminação e constituir uma necessidade do ser humano, a demanda por seu produto é consideravelmente inesgotável e seus efeitos são dificilmente reversíveis (CARVALHO, 2003).

Tucci (1997) relacionou a densidade habitacional com a área impermeável que ela gera (Tabela 2.1): para uma densidade de 25 hab/ha a área impermeável é de 11,3%, enquanto que a densidade de 200 hab/ha gera uma área impermeável de 66,7%. Ou seja, um aumento de 8 vezes da densidade populacional resulta em um aumento de aproximadamente 5 vezes das áreas impermeáveis.

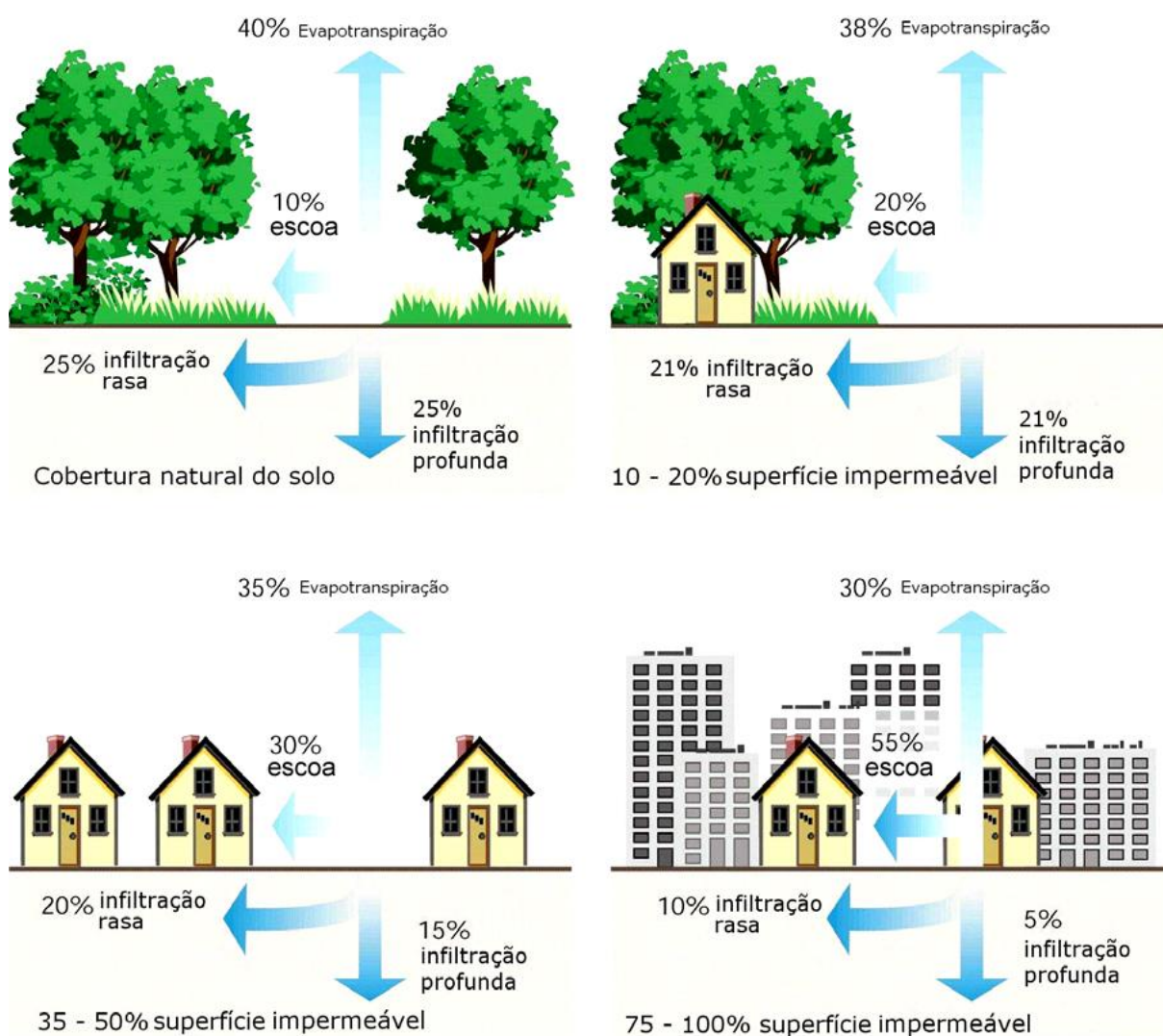
Tabela 2.1 – Densidade habitacional e área impermeável.

Densidade habitacional (hab/ha)	Área Impermeável (%)
25	11,3
50	23,3
75	36,0
100	50,0
120	58,7
150	64,7
200	66,7

Fonte: Tucci (1997).

Fisrwg (1998) avaliou o efeito da urbanização do balanço hídrico através da variabilidade do escoamento com o aumento das superfícies impermeáveis (Figura 2.2).

Figura 2.2 – Efeito da urbanização no balanço hídrico.



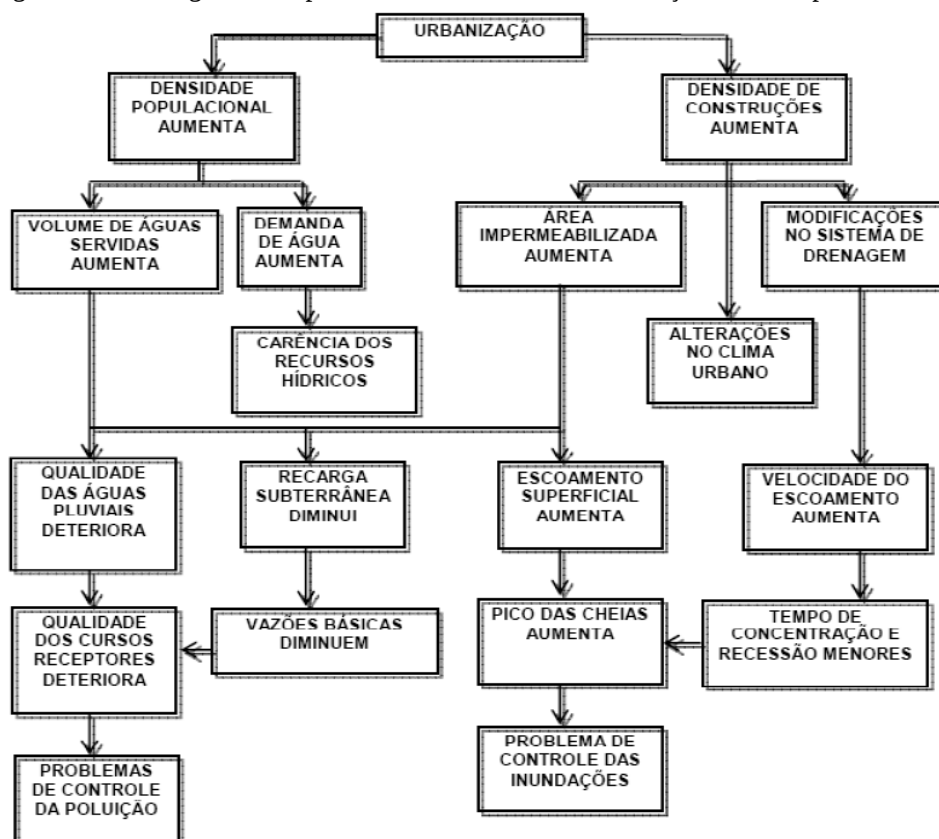
Fonte: Balabram (2007) adaptado de Fisrwg (1998).

A cobertura vegetal, responsável por proteger o solo e facilitar a infiltração da água, quando retirada no processo de desenvolvimento urbano, diminui a taxa de infiltração do solo, ou seja, aumenta o volume que escoar na superfície (MENEZES, 2010). A partir da Figura 2.2, nota-se que quanto maior esta superfície impermeável, que aumenta o escoamento, menores são as taxas de evapotranspiração, infiltração rasa e infiltração profunda. O aumento do escoamento superficial, por sua vez, implica na maior ocorrência de erosões, transporte de sedimentos, nutrientes e poluentes para os rios (MAEDA, 2008).

Nas bacias hidrográficas rurais ou em condições naturais de conservação, as águas pluviais são interceptadas pela vegetação, infiltram-se no solo e o seu excedente escoar sobre a superfície, produzindo um hidrograma com baixa variação de vazão e picos de enchentes moderados. Enquanto que nas bacias com predominância de ocupações urbanas, a impermeabilização do solo e a evacuação das águas pluviais por meio de condutos artificiais levam a um aumento da velocidade de escoamento e do volume de água escoada, e, conseqüentemente, ao aumento da magnitude de picos de cheias (TUCCI, 2001).

De forma esquematizada, a Figura 2.3 apresenta os diversos efeitos do processo de urbanização no meio ambiente e suas conseqüências no ciclo hidrológico.

Figura 2.3 – Fluxograma dos processos decorrentes da urbanização e seus impactos.



Fonte: Benini (2006, p.6) adaptado de Porto (1995).

Tucci (2000) estudou a relação do coeficiente de escoamento de bacias urbanas brasileiras em função da área impermeável e a vazão máxima correspondente (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 – Impacto da urbanização no aumento da vazão e do escoamento superficial.

Área impermeável no lote (%)	Área impermeável na bacia (%)	Aumento da vazão específica*	Aumento do volume de escoamento superficial*
7	20	6,52	2,15
20	30	9,65	3,22
33,3	40	12,90	4,29
46,7	50	16,24	5,36
60	60	19,65	6,44
73,3	70	23,14	7,51
80	80	26,67	8,58

* Aumento em número de vezes com relação à condição rural

Fonte: Tucci (2000).

A Tabela 2.2 apresenta a relação entre a urbanização no lote, área impermeável e aumento do volume de escoamento superficial encontrados no estudo, onde o aumento do coeficiente de escoamento representa o acréscimo do volume de escoamento superficial.

Ainda na Tabela 2.2, observa-se que as ocupações em situação extrema, com áreas impermeáveis de 80%, gera um aumento da vazão específica em mais de 25 vezes com relação à situação rural, enquanto o volume de escoamento superficial aumenta mais que 8 vezes em relação ao escoamento observado antes da ocupação urbana.

Tucci (2000) conclui o estudo relatando que um habitante produz, em média, cerca de 49m² de área impermeável em uma bacia, e para cada 10% de aumento na área impermeável, ocorre cerca de 100% de aumento no volume do escoamento superficial. Apenas o arruamento produz aumento do volume e do coeficiente de escoamento de 260% e para cada 13% de ocupação com área impermeável no lote ocorre aumento de 115% nesse coeficiente.

Neste contexto, é necessária a inclusão da realidade urbana no processo de gestão integrada dos recursos hídricos e a valorização dos instrumentos de planejamento capazes de abordar cenários de crescimento urbano futuros, essenciais para a formulação de princípios e diretrizes aos sistemas gerenciais da tomada de decisão (LANA, 1999).

Em face da iminente situação de escassez de água ocasionada pela poluição dos recursos hídricos surge uma nova forma de gestão destes recursos baseada no planejamento e manejo desses recursos de forma integrada, participativa e descentralizada, assuntos que serão abordados a seguir.

2.3 BACIA HIDROGRÁFICA COMO UNIDADE DE PLANEJAMENTO URBANO

Ao longo dos anos arquitetos, urbanistas e planejadores vêm estudando maneiras mais adequadas de ocupação urbana, entre elas um zoneamento urbano satisfatório e um desenho urbano menos impactante sob os recursos naturais.

Uma das tendências para incorporar a questão ambiental no planejamento é associar o zoneamento socioambiental ao meio físico, compartimentando o sítio urbano através da rede hidrográfica. Tecnicamente isso se justifica, pois a água é o principal modelador da paisagem no mundo tropical e existe forte correlação entre a rede de drenagem e paisagem. Os problemas urbanos mais comuns resultantes dos impactos ambientais nas cidades – deslizamentos, enchentes, assoreamentos, erosões, poluição etc. – estão relacionados à água, atingindo toda a sociedade, principalmente as populações mais carentes (CARVALHO, 2003).

Uma das maneiras de se considerar os cursos d'água no zoneamento urbano é através da delimitação da área e reconhecimento do ambiente físico da bacia hidrográfica como visão estratégica do planejamento ambiental, porque a bacia como unidade de análise integrada permite a conexão entre a organização espacial dos grupos sociais e os aspectos do ambiente físico (ALBUQUERQUE, 2012).

E é através desse o modelo de gestão que foi criada a Política Nacional de Recursos Hídricos, normatizada pela Lei Federal 9.433 de 1997, que apesar de inovadora e adequada às necessidades atuais, carece em alguns pontos de aplicabilidade.

A Lei 9.433/97 criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH) composto pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos, a Agência Nacional de Águas, os Conselhos de Recursos Hídricos dos Estados e do Distrito Federal, os Comitês de Bacia Hidrográfica, os órgãos dos poderes públicos federal, estaduais, do Distrito Federal e municipais cujas competências se relacionem com a gestão de recursos hídricos.

Os Comitês de Bacia Hidrográfica promovem a materialização da gestão integrada e participativa, pois sua principal atribuição é a de promover o debate das questões relacionadas a recursos hídricos e articular a atuação das entidades intervenientes. Eles têm como área de atuação a totalidade de uma bacia hidrográfica.

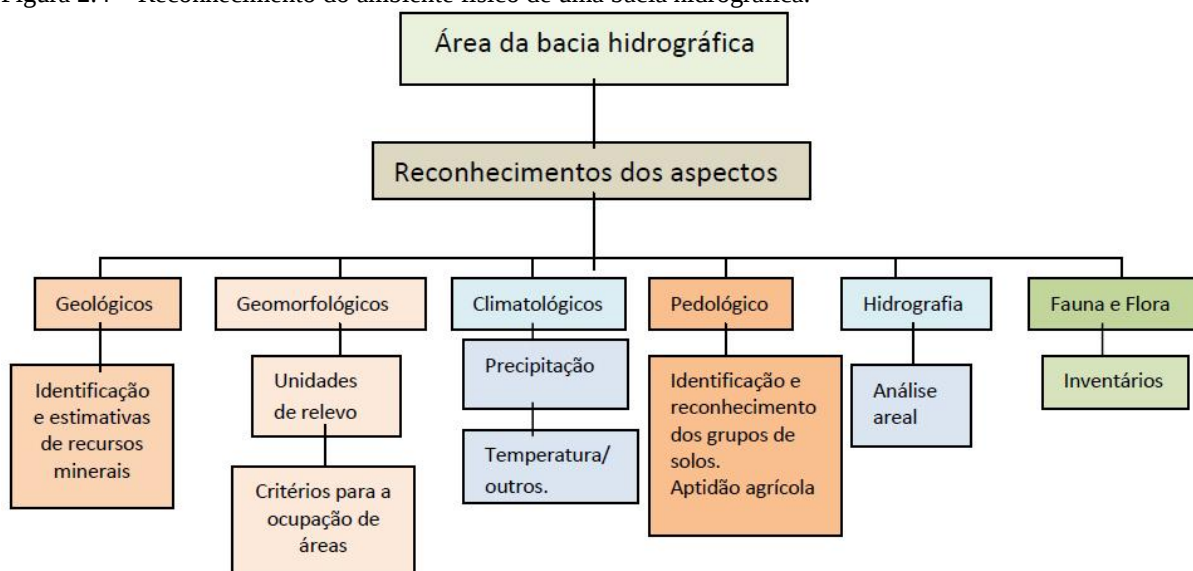
A bacia hidrográfica é o elemento fundamental de análise no ciclo hidrológico, principalmente na sua fase terrestre, que engloba a infiltração e o escoamento superficial. A subdivisão de uma bacia hidrográfica de maior ordem em seus componentes (sub-bacias) permite a identificação de problemas difusos, tornando mais fácil a localização de focos de

degradação de recursos naturais, a natureza dos processos de degradação ambiental instalados e o grau de comprometimento da produção sustentada existente (FERNANDES e SILVA, 1994).

Conforme Albuquerque (2012) as bases cartográficas para a delimitação de bacias hidrográficas são geradas a partir da aplicação dos sistemas cartográficos digitais e o uso do método de geoprocessamento. Este procedimento permite a criação de um banco de dados e a geração de SIG (Sistema de Informações Geográficas) que serve como armazenador de informações, onde a inserção de dados atualizados é fundamental para a tomada de decisões, contemplando o caráter de uso coletivo dos recursos pelos atores sociais.

Estabelecida a delimitação da bacia podem ser realizados estudos de caracterização do meio físico, tornando possível formatar um conjunto de informações relacionadas na Figura 2.4.

Figura 2.4 – Reconhecimento do ambiente físico de uma bacia hidrográfica.



Fonte: Albuquerque (2012).

A obtenção das cotas de curva de nível permite a identificação da geomorfologia do terreno, auxiliando o reconhecimento das unidades geomorfológicas e a identificação das áreas favoráveis ou não à ocupação. É possível por meio desse tipo de critério identificar: áreas sujeitas à inundação, topos e superfícies dissecadas, encostas de forte declive, fundos de vales dentre outras. E através deste processo poderão ser feitas as Cartas de Risco, fundamentais para a elaboração dos Planos Diretores das cidades, orientando os melhores locais para a implantação de loteamentos e as áreas frágeis que devem ser preservadas e conservadas.

Valente e Castro (1981) sugerem que a qualidade de cada corpo d'água está relacionada à geologia, ao tipo de solo, ao clima, ao tipo e quantidade de cobertura vegetal e ao grau e modalidade de atividade humana dentro da bacia hidrográfica.

Segundo Albuquerque (2012), a delimitação das bacias hidrográficas é essencial para a gestão dos recursos naturais e intervenção do Estado, porque oferece ao poder público e a sociedade civil maior capacidade de organização e direcionamento de esforços, reconhecimento dos diversos níveis de demandas locais, formulação de políticas na área de recursos hídricos, além de apoiar a operacionalização dos comitês de bacias hidrográficas.

De acordo com Tundisi (2003), os gestores devem considerar as atividades seguintes como aplicáveis à interação bacias hidrográficas/rios/lagos/represas:

- Introduzir tecnologias com métodos não agressores ao meio ambiente, como tecnologia e engenharia ecológica;
- Empregar abordagens de gerenciamento integrado. Integrar gerentes com engenheiros, cientistas e a comunidade local;
- Implementar programas para reciclagem de materiais, visando à redução da poluição das águas;
- Apoiar redução no uso e medidas conservacionistas de água;
- Avaliar diversas possibilidades de gerenciamento, inclusive abordagens inovadoras, no sentido de determinar a escolha com maiores perspectivas. Os objetivos devem contemplar horizontes de longo prazo e recursos hídricos qualitativamente sustentáveis;
- Dar maior atenção aos métodos de mitigação da poluição difusa;
- Fomentar a educação ambiental na região;
- Demonstrar aos gerentes industriais e membros da comunidade quais as consequências de suas decisões e/ou atividades sobre a disponibilidade quantitativa e qualitativa de água.

Ainda segundo Tundisi (2003), essas atividades visam garantir:

- Desenvolvimento controlado capaz de garantir a manutenção, a longo prazo, dos recursos hídricos e minimizar os efeitos sobre esse ou outros recursos;
- Que não se esgotem opções para um desenvolvimento futuro;
- Que a eficiência no uso da água ou de outros recursos seja o elemento chave da estratégia de seleção.

Nas etapas de planejamento e do gerenciamento de bacias hidrográficas também é imprescindível a participação e o envolvimento da comunidade, de maneira que esses usuários dos recursos naturais possam entender e acatar as normas e diretrizes de uso, conservação e desenvolvimento de seu território de forma sustentada. Nesse sentido, é fundamental que a população tenha conhecimento do ambiente que os envolvem, suas fragilidades e potencialidades, envolvendo assim os mecanismos de regulação do uso do solo e dos demais recursos naturais, evitando desta forma, os impactos ambientais na área da bacia (ARAÚJO *et al.*, 2009).

Para tanto, conclui-se que o gerenciamento de recursos hídricos envolve um conjunto de ações estratégicas de planejamento: a participação da população e organizações institucionais, a implantação de tecnologias diferenciadas, avançadas e de baixo custo, a promoção de políticas públicas e o treinamento de gerentes com visão sistêmica tecnológica de problemas sociais e econômicos.

2.4 DESENHO URBANO E OS CURSOS D'ÁGUA

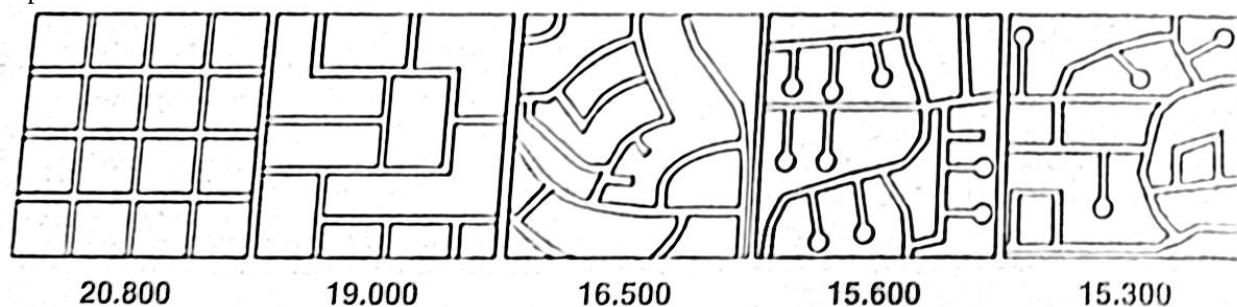
Quando há o planejamento da ocupação de uma determinada região, o estudo das características da área e o projeto urbanístico para ela é o primeiro passo para seu desenvolvimento. E o ideal é que o desenho urbano elaborado para esta área esteja de acordo com a legislação local, além de respeitar os recursos naturais existentes na região.

Muitos são os modelos de desenhos urbanos criados durante a história da civilização, mas observa-se que alguns traçados urbanos favorecem e contribuem para a manutenção dos cursos d'água e das áreas permeáveis.

Em geral, conforme Mascaró (2005) deve-se escolher a direção e posição das ruas de forma a ter declividade suficiente para escoar as águas da chuva.

A Figura 2.5 mostra que a disposição das ruas em uma área urbana afeta a quantidade de material usado devido às superfícies pavimentadas, onde o número que se encontra abaixo de cada desenho indica a quantidade de pés lineares de pavimentação impermeável. Ou seja, adicionar anéis e ruas sem saída, a exemplo do modelo das cidades jardins, pode diminuir a metragem linear de área impermeável em 26%. As ruas com curvas diminuem a velocidade das águas, e pavimentos estreitos também diminuem a impermeabilidade do solo (MIHELIC e ZIMMERMAN, 2012). Ainda na Figura 2.5 nota-se que quanto maior o número de cruzamentos, maior será a superfície a ser pavimentada.

Figura 2.5 – Características relacionadas ao traçado urbano das ruas que afetam a metragem linear do pavimento impermeável.



Fonte: Mihelcic e Zimmerman (2012), adaptado de Prince George County (1999).

Como os terrenos com declividade estão expostos aos efeitos da chuva, o Quadro 2.1 informa o escoamento da água nos terrenos em função de sua cobertura e declividade.

Quadro 2.1 – Escoamento em terrenos com declividades diversas.

Declividade (%)	Escoamento
<0,5	A água da chuva não escoar por causa da baixa declividade, então este local deverá ser usado como reserva ecológica, ou passar por obras de drenagem urbana.
0,5 a 1,9	Como estas declividades são pequenas, o escoamento só irá acontecer se o local for pavimentado ou adequadamente drenado.
> 2,0	Estas declividades possuem bom escoamento, o terreno poderá ser gramado. Até o valor de 2,5% não é conveniente colocar árvores.
Até 7,0	Os pedestres circulam com conforto e podem-se realizar atividades que requeiram terrenos planos.
> 30,0	O terreno poderá ser estabilizado só com ajuda da vegetação.

Fonte: Adaptado de Mascaró e Mascaró (2002).

2.5 HIDROLOGIA E O DESENVOLVIMENTO URBANO

No contexto urbano, os recursos hídricos naturais possibilitam o abastecimento de água e são utilizados para drenagem pluvial, além da sua função paisagística e para lazer. Por outro lado, os corredores formados por linhas de drenagem e áreas adjacentes, configuram locais de manutenção das propriedades ecológicas da paisagem natural internas à cidade. Em suma, os sistemas de águas urbanas são locais que se sobrepõem interesses dos sistemas urbano e natural (PERES, 2010).

De modo geral, todos os sistemas de águas urbanas apresentam relações diretas com a forma em que ocorre o uso e ocupação do solo urbano, onde a drenagem urbana e as inundações ribeirinhas são componentes do sistema de gestão dos recursos hídricos que apresentam as maiores relações com a configuração urbana sobre a paisagem natural (TUCCI, 2005).

Quando o processo de ocupação do solo à montante de uma bacia hidrográfica encontra-se bem desenvolvido, geralmente ocorre a redução do tempo de retardamento da bacia, potencializando os efeitos da enchente à jusante (BARROS, 2005).

Segundo Tucci (1995), quando a precipitação é intensa e o solo não tem capacidade de infiltrar, grande parte do volume escoar para o sistema de drenagem, superando sua capacidade natural de escoamento e o excesso passa a ocupar a várzea, inundando as áreas próximas aos rios. Esses eventos ocorrem aleatoriamente e são denominados de inundações ribeirinhas. Enquanto isso, à medida que a população impermeabiliza o solo, a quantidade de água que chega ao mesmo tempo no sistema de drenagem aumenta, produzindo inundações mais frequentes causadas pela urbanização.

Tradicionalmente a ocorrência de enchentes é associada aos aspectos qualitativos da urbanização de uma determinada bacia hidrográfica, onde o aumento da superfície impermeável altera o ciclo hidrológico natural (ALBERTI *et al.*, 2003). Entretanto, como visto no parágrafo anterior, a ocorrência de cheias em áreas adjacentes às linhas de drenagem é um processo inerente ao ciclo hidrológico natural, uma vez que todo curso d'água ou linha de drenagem é caracterizado por um regime de não permanência de vazões (TUCCI, 1999).

Ou seja, os leitos de escoamento hídrico não são fixos e apresentam diferentes delimitações de acordo com a vazão e o volume a ser escoado. Porém, a delimitação dos leitos naturais das linhas de drenagem não são medições diretas de níveis ou áreas de inundações, são níveis de referência determinados por associação a fatores probabilísticos da ocorrência de cheias, traduzidos por sua correspondência em número de anos (TUCCI & BERTONI, 2003). Portanto, se o leito maior de um curso d'água for indicado para um tempo de retorno (TR) de 10 anos, significa que este nível de cheia provavelmente se repita a cada 10 anos, ou a cada ano esta enchente tem 10% de chance de voltar a ocorrer (PERES, 2010).

Estudos hidrológicos são dedicados a determinar as probabilidades de inundação e o tempo de retorno de um determinado rio. Estes cálculos geralmente são realizados com base em observação de consistentes séries históricas de vazão ou em dados de precipitação aplicados a modelos numéricos que convertam dados de precipitação em vazão (TUCCI, 2005).

A precipitação representa a principal entrada de água no ciclo hidrológico. Em geral, a precipitação é representada em termos de lâmina d'água: 1 milímetro de chuva equivale a 1 litro de água distribuídos em 1 metro quadrado do terreno (RENNÓ e SOARES, 2000).

Nem toda a água da precipitação atinge o solo. A água da chuva que cai sobre uma região pode ser interceptada pela vegetação que cobre a superfície do solo. Parte desta água é evaporada e retorna à atmosfera e parte escorre pelos galhos e troncos até atingir o solo. A água interceptada e evaporada não contribui na alteração da umidade do solo e, portanto, deve ser subtraída da quantidade total de chuva que cai sobre a área (LANDSBERG e GOWER, 1997).

O escoamento superficial é aquele gerado pela água que não infiltrou durante um evento de chuva, e causa o aumento da velocidade das vazões no curso d'água (LIMA E ZAKIA, 2000), mas apenas parte da bacia contribui efetivamente para o escoamento direto de uma chuva.

Nas áreas com boas condições da cobertura vegetal, a ocorrência de escoamento direto ao longo de toda bacia é rara ou nula. Entretanto áreas parciais desta bacia podem produzir escoamento direto mesmo quando a intensidade da chuva for inferior à capacidade de infiltração média da área, isso porque estas áreas possuem as seguintes características (LIMA E ZAKIA, 2000):

- 1 Zonas saturadas que margeiam os córregos e suas cabeceiras (zonas ripárias);
- 2 Concavidades do terreno, frequentemente localizadas nas cabeceiras (também nas zonas ripárias);
- 3 Áreas de solo raso, com baixa capacidade de infiltração.

É importante ressaltar que as zonas ripárias são constituídas por vegetação, solo e rio, e são extremamente importantes na formação dos ecossistemas. A vegetação existente nestes locais contribui para atenuar o escoamento superficial, os picos de vazão e os processos erosivos, além de purificar as águas superficiais e subterrâneas através da filtração de sedimentos e nutrientes (BENINI, 2006).

Clinnick (1985) revisou a eficácia de diferentes larguras de faixa ciliar visando à proteção do curso d'água em áreas florestais da Austrália, e concluiu que a largura mais recomendada para tal finalidade é a de 30 metros, que coincide com a medida utilizada atualmente pelo Código Florestal Brasileiro para corpos d'água com até 10 metros de largura.

O escoamento superficial também tem efeito direto sobre a qualidade da água de rios e lagos, porque pode transportar o lixo depositado em locais inadequados e contaminantes. A contaminação ocorre, principalmente, em função das ligações clandestinas de esgoto, que são extremamente nocivas ao ecossistema aquático, além de prejudicar o uso dos corpos receptores para abastecimento público e recreação (SILVA, 2007).

O tempo necessário para que toda a área da bacia hidrográfica contribua para o escoamento superficial em um determinado ponto de controle é chamado de tempo de concentração. Os fatores que o influenciam são: a forma da bacia, a declividade média da bacia, o tipo de cobertura vegetal, comprimento e declividade do curso principal e seus afluentes, distância horizontal entre o ponto mais afastado da bacia e sua saída, condições do solo em que a bacia se encontra no início da chuva (ARAÚJO *et al.*, 2011).

Há diversas fórmulas para calcular o tempo de concentração (t_c), sendo que a grande maioria leva em conta apenas a declividade do curso principal e a área da bacia. A determinação do “ t_c ” por meio de fórmulas empíricas está sujeita às imprecisões e incertezas que se devem ao tipo de escoamento que a fórmula procura representar.

Uma das formulações empíricas mais usuais em estudos desta natureza é o método de Kirpich, que embora tenha sido aplicado inicialmente em bacias hidrográficas pequenas (KIRPICH, 1940), na prática também é usado para bacias maiores, com bons resultados na representação de grandes áreas. Esta fórmula é a mais utilizada pelos projetistas porque apresenta na maioria dos casos valores coerentes para uma grande faixa de áreas de bacias (DNIT, 2005).

2.6 MODELAGEM HIDROLÓGICA

A realização de estudos hidrológicos em bacias hidrográficas vem da necessidade de se compreender o funcionamento do balanço hídrico, os processos que controlam o movimento da água e os impactos de mudanças do uso da terra sobre a quantidade e qualidade da água (WHITEHEAD & ROBINSON, 1993). A importância de se adotar a bacia como unidade hidrológica está ligada ao fato de que suas características estão intimamente relacionadas com a produção de água.

A bacia hidrográfica reúne as superfícies que captam e despejam água sobre um ou mais canais de escoamento que desembocam em uma única saída. Por conseguinte, a entrada no modelo hidrológico constitui uma série de precipitações na bacia e os resultados são as parcelas do ciclo hidrológico que se deseja modelar (PEREIRA, 2009).

O crescimento planejado e sustentável das bacias hidrográficas urbanas é essencial, tornando cada vez mais necessário o estudo de ferramentas que possibilite um melhor entendimento e previsão dos processos hidrológicos que ocorrem nestas regiões (GARCIA & PAIVA, 2006). O monitoramento de uma bacia hidrográfica pode fornecer

indicações a respeito de mudanças desejáveis ou indesejáveis que estejam acontecendo em um curso d'água como consequência de práticas de manejo (RENNÓ, 2003).

Podem-se identificar várias práticas que prejudicam a sustentabilidade, que ocorrem em diferentes escalas. Na escala micro, ou seja, na escala da propriedade rural, a compactação, a destruição da matéria orgânica e a destruição da microbiologia do solo são alguns exemplos de consequências de práticas de manejo inadequado que degradam o mais importante fator hidrológico da manutenção dos recursos hídricos, que é o processo de infiltração de água no solo. Na escala meso, que é a própria escala da bacia hidrográfica, pode-se identificar outros indicadores de sustentabilidade dos recursos hídricos. Por exemplo, o traçado de estradas que não leve em conta as características da bacia, sempre constitui um foco permanente de erosão, degradando tanto o potencial produtivo do solo, como a qualidade da água. Finalmente, numa escala macro ou regional, um indicador de sustentabilidade dos recursos hídricos seria, por exemplo, a própria disponibilidade natural de água, a qual pode ser quantificada pelo balanço hídrico (LIMA, 2000).

O modelo hidrológico é uma ferramenta extremamente útil que permite, através da equacionalização dos processos, representar, entender e simular o comportamento de uma bacia hidrográfica (TUCCI, 1999). Entretanto, é impossível traduzir todas as relações existentes entre os diferentes componentes da bacia hidrográfica em termos matemáticos. De fato, ou essas relações são extremamente complexas a ponto de não existir uma formulação matemática capaz de descrevê-las completamente. Assim, na maioria dos casos, a modelagem hidrológica torna-se somente uma representação aproximada da realidade (RENNÓ & SOARES, 2000).

Os processos hidrológicos são geralmente bastante complexos, não lineares e possuem componentes aleatórios sobre a escala do tempo e do espaço (CARVALHO, 2011), por isso existe a necessidade de modelos que simplifiquem os processos que o envolvem.

2.6.1 Importância da modelagem

Os modelos são representações simplificadas da realidade concreta, têm sido utilizados ao longo de todos os períodos da história e constituem uma das ferramentas intelectuais mais antigas da humanidade. A prática da modelagem envolve necessariamente um grau de subjetividade e a finalidade do modelo determina o critério das características a serem extraídas da realidade (ECHENIQUE, 1975).

Segundo Echenique (1975), não basta compreender a cidade como um sistema, é preciso de alguma forma representá-la. A modelagem de sistemas ambientais é um procedimento que envolve um conjunto de técnicas que geram as bases para a compreensão do ambiente natural e os modelos matemáticos têm sido amplamente aplicados na gestão quantitativa dos recursos (CHRISTOFOLETTI, 1999).

A utilização de modelos é necessária quando o sistema real não pode responder às questões formuladas pelo problema em estudo e é vantajosa quando resulta em reduções de tempo, custo ou risco. Para Krauskopf (2005), apresentam a condição de uso necessário de modelos:

- 1 O estudo de sistemas idealizados: o estudo de sistemas que existem apenas como ideia e somente pode ser feito através de modelos;
- 2 A previsão do comportamento de um sistema existente em operações não registradas: neste caso, o comportamento do sistema é idealizado, no sentido de que ainda não ocorreu, existindo apenas no plano teórico ou ideal;
- 3 A previsão do comportamento de um sistema existente para condições ainda não ocorridas ou não registradas: este caso também trata de comportamento idealizado de um sistema ou de uso de modelos para o preenchimento de falhas no registro de dados.

A aplicação de modelos possibilita elaborar cenários em diferentes contextos de ocupação, produzindo resultados que auxiliam no planejamento urbano. Atualmente está disponível uma série de modelos hidrológicos, visto que cada modelo possui uma finalidade específica, diferentes formulações matemáticas e métodos empregados (CARVALHO, 2011).

Para Elliot e Trowsdale (2007), os programas mais completos são o MOUSE (*Modelling of Urban Sewer*) e o SWMM (*Storm Water Management Model*), porque ambos auxiliam no planejamento do uso do solo nas bacias hidrográficas e determinam a concepção preliminar de controles regionais, além de que eles podem ser utilizados para pesquisa, projeto detalhado do sistema de drenagem regional, desenho detalhado, layout do local e seleção de materiais aplicáveis.

Meller (2004) e Garcia (2005) defendem que o MOUSE é um dos melhores modelos para drenagem urbana, quando se trata de simulação de variações espaciais de escoamento, profundidade de água, transporte de sedimentos e poluentes em rios e canais abertos. No entanto, ele é um *software* pago e requer uma grande quantidade de dados de entrada.

Já o modelo SWMM é de domínio público, requer menor quantidade de dados de entrada e vem sendo amplamente utilizado em trabalhos científicos, com êxito nos resultados para bacias brasileiras. Como a maioria dos dados da bacia deste estudo são restritos ou inexistentes optou-se pelo modelo SWMM para o desenvolvimento da modelagem hidrológica. Além de ser um modelo acessível, pois seu domínio é público e ele pode ser instalado diretamente da internet, inclusive possui versões e manuais em português, facilitando a sua aplicabilidade em estudos futuros e como ferramenta para os gestores públicos.

2.6.2 Modelo hidrológico SWMM (*Storm Water Management Model*)

O modelo SWMM foi desenvolvido pela EPA (*Environmental Protection Agency*), dos Estados Unidos da América, e a sua primeira versão foi apresentada no final da década de 1960, desde então ele vem sendo amplamente utilizado e revisado, além de possuir várias versões em diversos idiomas. O modelo é dividido em módulos, possibilitando estudos de aspectos de hidrologia urbana e na determinação de ciclos de qualidade de água (CARVALHO, 2011).

Segundo Garcia (2005), o SWMM é o aplicativo mais utilizado para simulação da drenagem urbana e foi o primeiro modelo computacional para análise qualitativa e quantitativa associada ao escoamento gerado em áreas urbanas. Os módulos computacionais existentes nele são os responsáveis pelas rotinas de cálculo, podendo citar: o processo de transformação chuva-vazão, propagação na rede, cargas de poluentes e simulação de estruturas de controle do escoamento (MELLER, 2004).

Amorim (2007) relata que o programa SWMM utiliza os seguintes princípios:

- Propagação do escoamento superficial, avaliada pelo método do hidrograma unitário;
- Perdas hidrológicas, incluindo a retenção superficial e infiltração, modeladas pelas fórmulas de *Horton* e *Green-Ampt* e pelo “curva número (CN)” do *Soil Conservative Service*;
- Propagação do escoamento superficial, descrita pelo modelo cinemático;
- Propagação do escoamento na rede de coletores, descrita pelo modelo dinâmico completo (equações completas de *Saint-Venant*), ou modelo cinemático ou modelo difuso.

Já o Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba, responsável pelo manual do SWMM em português, sugere as possíveis aplicações do modelo:

- Concepção e dimensionamento de componentes da rede de drenagem para controle de inundações;
- Dimensionamento de estruturas de retenção e acessórios, para o controle de inundações e a proteção da qualidade das águas;
- Delimitação de zonas de inundação em leitos naturais;
- Concepção de estratégias de controle para minimizar o transbordamento de sistemas unitários e mistos;
- Avaliação do impacto de contribuições e infiltrações sobre o transbordamento de sistemas de drenagem de águas residuárias;
- Geração de poluição difusa para estudos de lançamento de efluentes (carga de contaminantes);
- Avaliação da eficácia das BMPs (Boas Práticas de Manejo) para reduzir o carregamento de poluentes durante a chuva.

Para Collodel (2009), o SWMM é um modelo hidrológico dinâmico que simula hidrogramas resultantes a partir de dados de entrada. A bacia hidrográfica de estudo pode ser representada na forma de um conjunto de sub-bacias e canais de propagação interconectados. Normalmente, cada sub-bacia é subdividida em três subáreas: impermeável com armazenamento, permeável com armazenamento e permeável sem armazenamento.

Garcia *et al.* (2004) avaliou três situações em uma bacia hidrográfica urbana para sua melhor representação no modelo SWMM: a bacia concentrada, a bacia discretizada em sete sub-bacias e a bacia discretizada em onze sub-bacias. Verificou-se que as bacias discretizadas proporcionaram uma melhor representatividade dos processos hidráulicos e hidrológicos ocorridos na região estudada, entretanto, os dois graus de discretização não apresentaram diferenças significativas entre si.

Em outro estudo, Garcia (2005) aplicou o modelo SWMM na bacia hidrográfica do Arroio Cancela na cidade de Santa Maria-RS, com área de drenagem de 4,95 km² e aproximadamente 35% de área impermeável. O objetivo do trabalho era a calibração dos eventos de cheia e a análise das mudanças ocorridas nos hidrogramas causadas pelo processo de urbanização para os anos de 1980 e 2004. A bacia foi dividida em 18 sub-bacia, e na avaliação o local de estudo apresentou crescimento de 17% da área urbana e 24% de áreas

impermeabilizadas, entre 1980 e 2004, o que representou um aumento da vazão de pico e do volume escoado de 109% e 89,8%, respectivamente, apontando assim a necessidade do planejamento do uso e ocupação do solo em áreas urbanas.

No estudo de Jang *et al.* (2007), o SWMM foi usado como ferramenta de avaliação do impacto hidrológico causado pela urbanização em três bacias diferentes. Para isso modelou os dados para duas condições: pré e pós-desenvolvimento. Ao final realizou simulações futuras para as áreas calibradas, a fim de contribuir para o planejamento futuro destas regiões.

Um trabalho de Souza *et al.* (2012) aplicou o SWMM na mesma área deste estudo, a bacia do Córrego Samambaia, com o intuito de compará-lo ao modelo HEC-HMS (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System*). Consideraram-se duas hipóteses: a bacia discretizada em 5 subáreas e a bacia concentrada, onde a bacia discretizada apresentou melhores resultados. Na comparação dos dois modelos se concluiu que a forma de representação espacial da bacia pelo modelo HEC-HMS garantiu melhor aplicabilidade na modelação da macrodrenagem de bacias rurais, já a representação adotada pelo SWMM é mais adequada para a modelação da microdrenagem urbana.

Apesar da bacia em estudo ter características rurais, a modelação será realizada para vários cenários, considerando o desenvolvimento da bacia até ela se tornar em sua maioria urbana.

Observa-se, portanto, que o modelo SWMM é amplamente utilizado para fins de diagnóstico de bacias hidrográficas, proposições de cenários e planejamento urbano ambiental, que também são objetivos deste estudo. Entretanto ponderam-se algumas limitações do modelo:

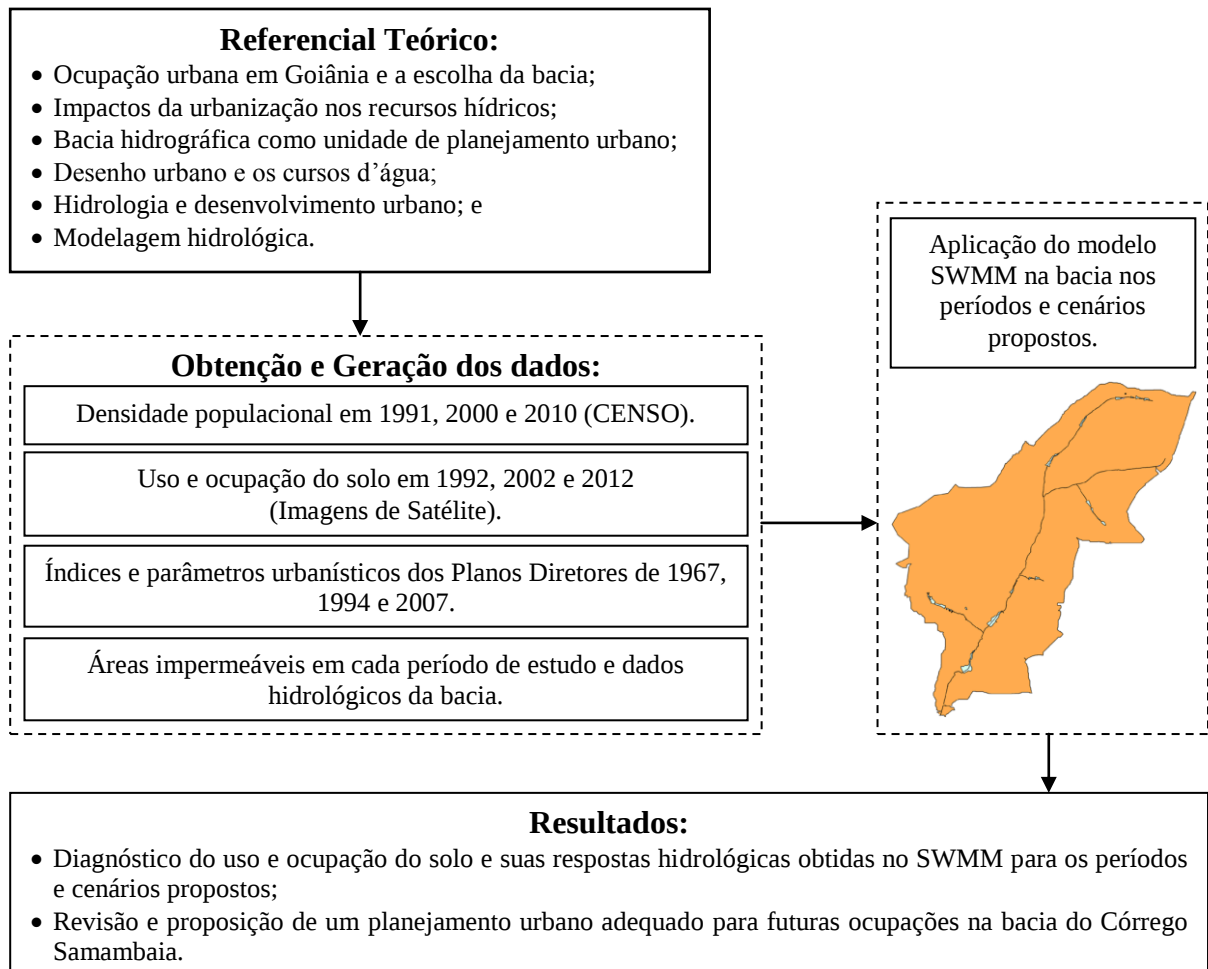
- Não aconselhável para a macrodrenagem de bacias rurais (SOUZA *et al.*, 2012);
- Dificuldade e complexidade na entrada de dados (sujeito a erros devido a grande quantidade de dados a serem inseridos);
- É uma ferramenta de simulação hidráulica, não de dimensionamento;
- Não adequado para longos tempos de duração de chuva (mais de 01 dia).

3 METODOLOGIA

A metodologia adotada neste estudo, esquematizada na Figura 3.1, consistiu em: identificar o referencial teórico a partir de pesquisa bibliográfica e escolher uma bacia; selecionar e reunir informações do objeto de estudo contidas em documentos publicados, textos restritos, imagens de satélite, visitas *in loco*, para a geração dos dados necessários para a modelagem; e aplicar o modelo hidrológico para conhecer as respostas hidrológicas na área de estudo.

A partir deste método será feito um diagnóstico da bacia do Córrego Samambaia com relação ao seu uso e ocupação do solo ao longo dos anos e nos cenários propostos, bem como suas respostas hidrológicas. Com a análise deste diagnóstico será possível recomendar um planejamento urbano adequado para as futuras ocupações na área de estudo.

Figura 3.1 – Esquema analítico da metodologia adotada para este estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

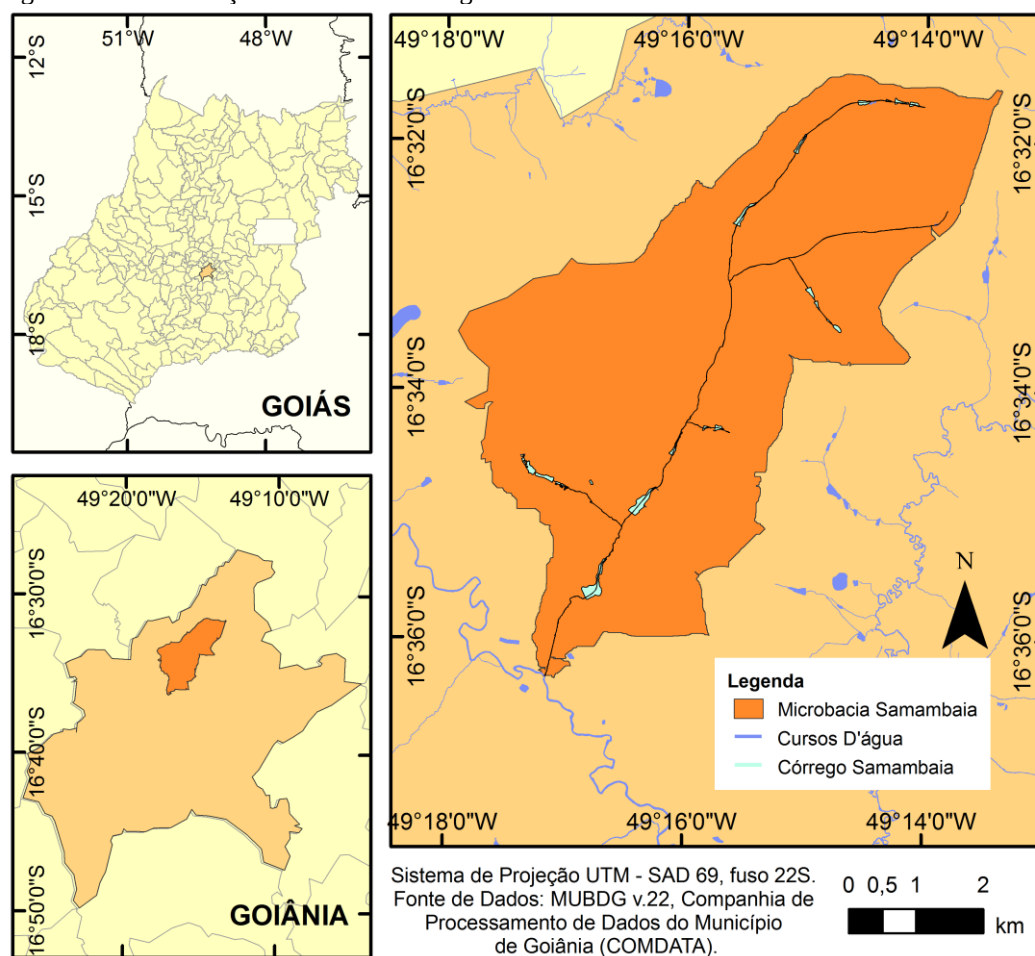
3.1 LOCALIZAÇÃO E DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Após visitas *in loco*, foi possível constatar que os loteamentos urbanos existentes na área da bacia do Córrego Samambaia estão em fase adiantada de ocupação e a situação de impermeabilização do solo está cada vez mais presente. Como a área de ocupação na porção Sul do município de Goiânia encontra-se praticamente saturada para a criação de novos loteamentos, porque está limitada pela conurbação com o município de Aparecida de Goiânia, a tendência para os futuros parcelamentos é que eles sejam implantados na região Norte da cidade, justamente a região onde está a bacia.

Caso estas atividades humanas se intensifiquem na área, acontecerá o aumento do escoamento superficial e da vazão do córrego, contribuindo para o aumento de enchentes à jusante e para alterações significativas da qualidade da água.

Diante desta situação, foi escolhida como objeto de estudo a bacia do Córrego Samambaia em Goiânia (Figura 3.2).

Figura 3.2 – Localização da bacia do Córrego Samambaia em Goiânia.



Fonte: Adaptado de Rocha *et al.* (2012).

A bacia está localizada na região Norte do município de Goiânia, entre as coordenadas 16°31'45,20" e 16°36'19,65" de latitude Sul e 49°17'11,12" e 49°14'1,79" de longitude Oeste. Suas nascentes estão próximas à rodovia GO-080, enquanto que a foz se encontra junto ao Rio Meia Ponte na área do Campus Samambaia da Universidade Federal de Goiás.

A delimitação automática da bacia apresentada na Figura 3.2 foi realizada em ambiente de SIG, utilizando a estrutura numérica de dados correspondente à distribuição espacial da altitude e superfície do terreno – MDT (Modelo Digital de Terreno), contida no MUBDG (Mapa Urbano Básico Digital de Goiânia), Versão 22 (2012), disponibilizada pela COMDATA (Companhia de Processamento Dados do Município de Goiânia).

Esse processo foi subdividido em etapas específicas para a obtenção da delimitação final da bacia, sendo elas: direção de fluxo, acumulação de fluxo, delineamento da rede de drenagem e delineamento das bacias hidrográficas.

Apesar de possuir algumas áreas inseridas no limite de expansão urbana do município, com loteamentos localizados principalmente na margem esquerda do Córrego Samambaia, a bacia pode ser considerada rural porque sua maior porção ainda se encontra na zona rural de Goiânia.

3.2 USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA NOS ÚLTIMOS 20 ANOS

Para a análise da ocupação e identificação do uso do solo da região ao longo destes últimos 20 anos, foram utilizados os dados relacionados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Dados utilizados para análise do uso e ocupação do solo na bacia do Córrego Samambaia.

Dados do CENSO	Imagens	Planos Diretores de Goiânia
1991	Foto aérea de 1992 *	1967
2000	Imagem de Satélite do <i>Google Earth</i> 2002	1994
2010	Imagem de Satélite do <i>Google Earth</i> 2012	2007

* A foto aérea de 1992 não contempla a área deste estudo, pois a mesma encontrava-se na área rural do município e não foi fotografada nesta época.

Fonte: Elaborado pela autora.

Nesta etapa foram estudadas as situações de urbanização na bacia nos anos de 1992, 2002 e 2012. A escolha deste período para análise do uso e ocupação do solo deve-se ao fato de que se identificou neste período, através das imagens e dos dados de aprovação de loteamentos fornecidos pela Prefeitura Municipal de Goiânia, maior intensidade da expansão

urbana na área de estudo. Isto ocorreu porque até o Plano Diretor de 1967 a área de estudo fazia parte da zona rural do município de Goiânia, entretanto nos Planos Diretores de 1994 e 2007 algumas parcelas da bacia do Córrego Samambaia foram inseridas em área de expansão urbana. A Tabela 3.2 contém os dados dos CENSOS dos últimos 20 anos.

Tabela 3.2 – Dados populacionais do CENSO (1991, 2000 e 2010).

CENSO	População em Goiânia (habitantes)
1991	920.840
2000	1.093.007
2010	1.302.001*

* Desta população, 140.098 habitantes residem na Região Administrativa Norte de Goiânia.

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se que a população de Goiânia aumentou 18,7% entre 1991 e 2000, já em 2010 a população era 19,1% maior do que a existente em 2000 e 41,4% maior do que em 1991.

No ano de 1992 a área de estudo não aparece na imagem de satélite, portanto a área impermeável foi estimada levando em consideração as chácaras e loteamentos existentes neste período, os registros de imóveis construídos neste período e as legislações vigentes, descontando os 15% de índice de permeabilidade exigido pela lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979), e mais os 15% de Áreas de Proteção Permanente (APP's) correspondentes às faixas bilaterais de 30m contíguas ao córrego, mais as áreas circundantes das nascentes com um raio de 100m, exigidas pelo Plano Diretor de Goiânia.

Já para os anos 2002 e 2012, foram utilizadas as imagens de satélite que continham a bacia, obtidas no *software Google Earth* disponibilizado gratuitamente no *Google*. Estas imagens foram georreferenciadas e exportadas para o ambiente de SIG e foi realizada uma classificação automática e supervisionada, baseada nos padrões de resposta espectral (DÉSTRO & CAMPOS, 2006).

Logo em seguida, para aumentar a precisão da etapa anterior, foi feita a correção manual dos possíveis erros baseada no processo visual das imagens, criando e ajustando os polígonos. Embora a técnica manual seja extremamente trabalhosa e demorada, é importantíssima para melhorar a precisão dos dados (LOURENÇO & VOLPE, 2009). E para a confirmação e validação dos dados gerados foi realizada posteriormente visitas *in loco* na bacia.

Definiu-se então o uso e ocupação do solo a partir da criação de 3 classes: classe 1 (área construída: edifícios e vias pavimentadas), classe 2 (vegetação arbustiva) e classe 3 (áreas de pastagens, plantações, solo exposto e vias não pavimentadas). A classe 1 foi considerada impermeável, e as classes 2 e 3 foram definidas como permeáveis.

Desta forma as áreas construídas foram localizadas e identificadas nas imagens de satélite através do desenho de polígonos, que ao final da verificação foram transformados em áreas impermeáveis. E este processo gerou os dados apresentados na Tabela 3.3:

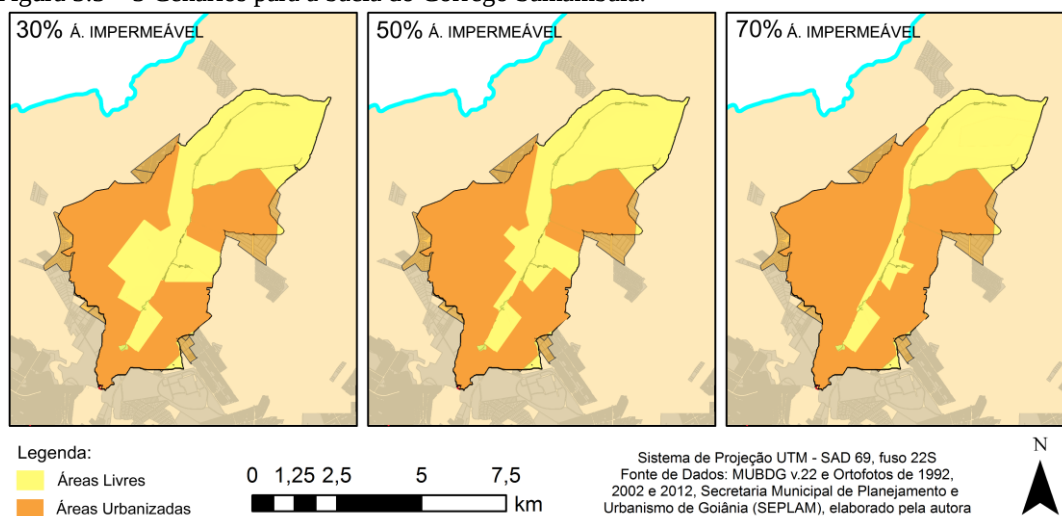
Tabela 3.3 – Áreas impermeáveis na bacia do Córrego Samambaia.

Ano	Área impermeável (%)
1992	7,00
2002	15,50
2012	24,50

Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda para objetivo deste estudo, além dos três períodos selecionados (1992, 2002 e 2012), foram sugeridos na Figura 3.3 mais três cenários de ocupação urbana, simulando a bacia com áreas impermeáveis superiores às taxas atuais.

Figura 3.3 – 3 Cenários para a bacia do Córrego Samambaia.



Fonte: Elaborado pela autora.

Cada cenário representa a bacia nas seguintes situações:

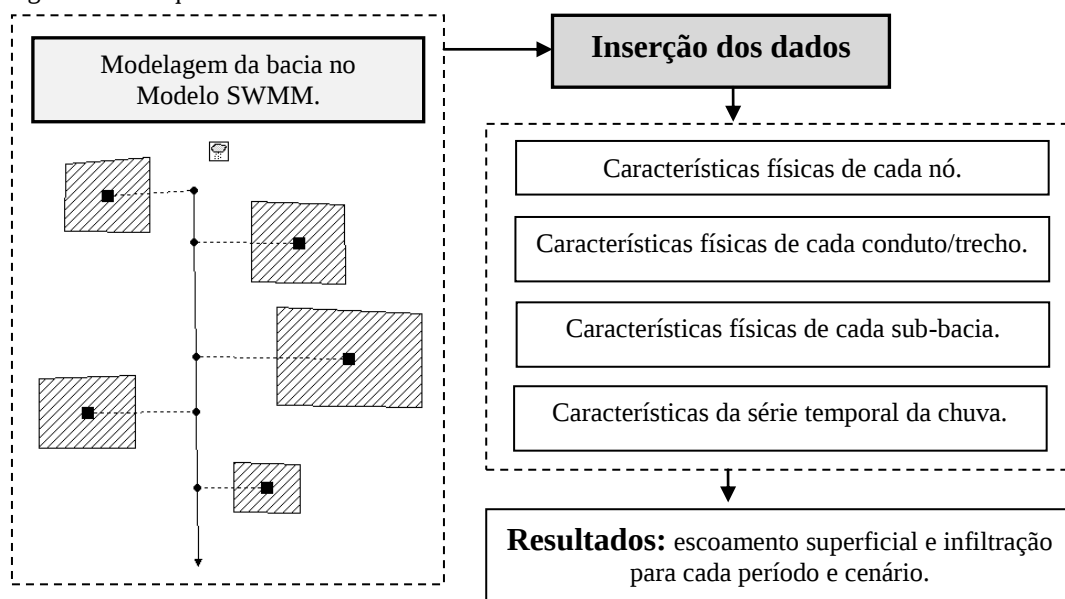
- Cenário 1 – 30% de área impermeável e 70% de área permeável: Considerando a bacia em situação oposta ao Cenário 3 (ver especificações do Cenário 3).
- Cenário 2 – 50% de área impermeável e 50% de área permeável: Considerando que a bacia possui metade de sua área com ocupação urbana.

- Cenário 3 – 70% de área impermeável e 30% de área permeável: Considerando que a bacia está totalmente ocupada nos limites das legislações vigentes, descontando os 15% de índice de permeabilidade exigido pela lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei Federal nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979), e mais os 15% de Áreas de Proteção Permanente (APP's) correspondentes às faixas bilaterais de 30m contíguas ao córrego, mais as áreas circundantes das nascentes com um raio de 100m, exigidas pelo Plano Diretor de 2007.

3.3 APLICAÇÃO DO MODELO HIDROLÓGICO SWMM (*STORM WATER MANAGEMENT MODEL*)

A aplicação de um modelo hidrológico na bacia torna-se necessário para a compreensão dos processos hidrológicos que acontecem na região nos períodos selecionados e os impactos da urbanização sobre os recursos hídricos. Para tanto foram realizadas as etapas relacionadas no esquema da Figura 3.4.

Figura 3.4 – Esquema analítico do modelo SWMM.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para simular as respostas hidrológicas da área de estudo com dados de entrada foi utilizado o modelo hidrológico dinâmico *Storm Water Management Model* (SWMM), com auxílio do manual do usuário traduzido pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, da Universidade Federal da Paraíba. Este modelo permite determinar o escoamento gerado em cada sub-bacia, a vazão, a profundidade do fluxo, entre

outros resultados. Para a finalidade deste estudo foi selecionado o módulo "Runoff" do SWMM versão 5.0.022 Brasil, sugerido por Souza *et al.* (2012).

3.3.1 Aspectos físicos da bacia do Córrego Samambaia

O solo possui propriedades específicas que determinam sua aptidão e limitação de uso que devem ser consideradas no planejamento urbano das cidades. É comum encontrar nas áreas urbanizadas a conversão de ambientes frágeis em áreas construídas, o que acarreta a degradação do ambiente, dificultando sua recuperação e aumentando os custos deste processo (PEDRON *et al.*, 2007).

Gouvêa (2002) considera o solo da região o elemento físico mais importante quando se pretende desenvolver conceitos e critérios para um desenho ambiental urbano. Por isso é de grande importância o levantamento pedológico da bacia para a sua aplicação na calibragem do modelo hidrológico e na elaboração de um planejamento urbano adequado para o local. Souza *et al.* (2012) identificou que a pedologia da bacia do Córrego Samambaia é formada em sua maioria por latossolo vermelho escuro, associado à latossolo roxo, ambos com textura argilosa ou muito argilosa, relevo plano e suavemente ondulado.

Além do tipo do solo, foi feita a medição e caracterização da bacia em ambiente de SIG, que são informações necessárias para as etapas seguintes, apresentadas na Tabela 3.4:

Tabela 3.4 – Caracterização da bacia do Córrego Samambaia.

Características	Valores encontrados em ambiente SIG
Área	3.195,11 hectares (32km ²)
Perímetro	14.000 m
Extensão do curso principal	10.920 m
Largura do escoamento	2.926 m
Declividade do curso principal	0,0114 m/m (1,14%)
Declividade média da bacia	0,0293 m/m (2,93%)

Fonte: Elaborado pela autora.

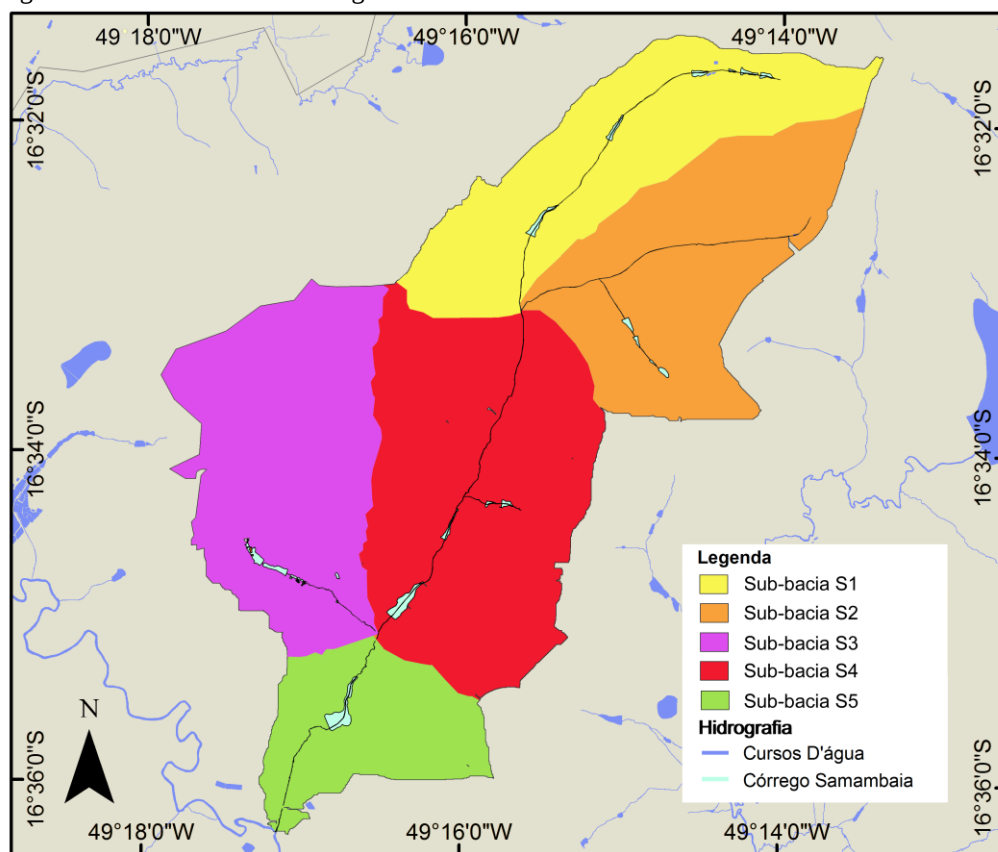
3.3.2 Discretização da bacia do Córrego Samambaia em sub-bacias

Considerando as variações da topografia e a homogeneidade das características urbanas, a bacia hidrográfica do Córrego Samambaia foi representada na forma de um número adequado de sub-bacias e canais de propagação interconectados, como proposto por Carvalho (2011) para uma melhor representação do escoamento superficial. Ele observou-se que a

modelação da bacia discretizada apresentou melhores resultados do que quando a bacia está concentrada.

Para tanto a bacia foi discretizada (dividida) em cinco subáreas, e esta subdivisão buscou a criação de áreas homogêneas utilizando as características físicas obtidas a partir do MDE (Modelo Digital de Elevação) em ambiente de SIG. As sub-bacias são apresentadas na Figura 3.5, e através deste mapa foi possível obter os dados necessários para a simulação no modelo SWMM, apresentados na Tabela 3.5.

Figura 3.5 – Sub-bacias do Córrego Samambaia.



Sistema de Projeção UTM - SAD 69, fuso 22S. Fonte de Dados: MUBDG v.22, Companhia de Processamento de Dados do Município de Goiânia (COMDATA).

0 0,5 1 2 km

Fonte: Adaptado de Souza *et al.* (2012).

Tabela 3.5 – Características das sub-bacias para a modelação no SWMM.

Característica	Sub-bacias				
	S1	S2	S3	S4	S5
Área (hectares)	591,65	675,29	695,95	923,71	308,51
Declividade (%)	1,55	0,99	0,50	0,67	1,07
Largura do escoamento (m)	1220,11	1338,69	1400,25	2469,30	1320,51
Comprimento do canal (m)	4849,15	5044,40	4970,20	3740,77	2336,30
Declividade do canal (m/m)	0,020	0,018	0,015	0,0078	0,007

Fonte: Elaborado pela autora.

3.3.3 Modelos de infiltração e de propagação de fluxo

O modelo para o cálculo da infiltração escolhido para simulação no SWMM foi o da “Curva-número”, variável pertencente ao método adotado pelo *Soil Conservation Service* (SCS) dos Estados Unidos, e que está relacionada com o tipo, o uso predominante e a umidade do solo. Durante um evento de chuva a capacidade total de infiltração do solo é deplecionada em função da chuva acumulada e da capacidade de infiltração remanescente.

O número CN utilizado neste estudo foi estimado a partir dos valores determinados pela SCS (1986), tabelados por Mays (2005), considerando as características do uso do solo em cada período de estudo (Tabela 3.6).

Tabela 3.6 – Área Impermeável e CN de cada período de estudo.

Variáveis	Ano					
	1992	2002	2012	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Área impermeável total (%)	7,00	15,50	24,50	30,00	50,00	70,00
CN*	39	49	54	59	70	78

* Valores tabelados por Mays (2005, p.265-266).

Fonte: Elaborado pela autora.

Para resolver as equações de *Manning* e da Continuidade para obter a propagação do fluxo optou-se por trabalhar com o método do Regime Uniforme.

3.3.4 Coeficiente de rugosidade de *Manning* e capacidade de armazenamento em depressões

Para encontrar na tabela sugerida por McCuen (1998) os coeficientes de rugosidade de *Manning*, consideraram-se as superfícies permeáveis pouco gramadas ($n = 0,15$) e as superfícies impermeáveis em sua maioria feitas de concreto liso ($n = 0,011$), características constatadas a partir do padrão construtivo na bacia, a partir das visitas *in loco* (Figura 3.6).

Já o coeficiente de rugosidade de *Manning* para o curso d'água foi estabelecido a partir das imagens de Chaudhry (1993), considerando o tipo de solo argiloso estabilizado em que o coeficiente é $n = 0,030$.

Figura 3.6 – Padrão construtivo nos loteamentos da bacia (Residencial Orlando de Moraes).



Fonte: Elaborado pela autora.

Em áreas urbanas uma parcela grande da chuva é retida nas depressões do terreno, ou seja, não produz escoamento. As áreas das depressões normalmente são impermeáveis ou pouco permeáveis e, portanto, também não existe infiltração considerável no solo e a água retida nestas áreas fica disponível para a evaporação. Os valores utilizados para o armazenamento em depressões tanto para as superfícies permeáveis e impermeáveis foram determinados por Souza *et al.* (2012) para a área de estudo (Tabela 3.7).

Tabela 3.7 – Coeficiente de rugosidade de *Manning* e capacidade de armazenamento em depressões para a modelação no SWMM.

Tipo de Superfície	Coeficiente de rugosidade de <i>Manning</i> (n)	Capacidade de armazenamento em depressões
Impermeável	0,011	1,90
Permeável	0,150	5,08

Fonte: Adaptado de Souza *et al.* (2012).

3.3.5 Precipitação de projeto e Precipitação efetiva

Costa *et al.* (2007) afirmam que a duração “*t*” da precipitação usualmente assume o mesmo valor do tempo de concentração, que é o tempo que toda a área drenada demora para contribuir para a seção de projeto.

Para o cálculo do tempo de concentração (t_c) foi utilizada a Equação 3.2 de Kirpich modificada, que já apresentou vários resultados satisfatórios para um grande número de bacias de vários tamanhos (PAIVA & PAIVA, 2003). O uso desta equação, além do uso contínuo na bibliografia e sugerida pelo Manual de Hidrologia Básica do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes), deve-se ao fato da disponibilidade na obtenção dos dados, que são características físicas obtidas no modelo digital da microbacia.

Na bacia de estudo o comprimento do curso d'água (L) obtido em SIG foi de 10,93 km e o desnível máximo (H) de 80,63 m, gerando um tempo de concentração (t_c) de 4,15 horas, encontrado através da Equação 3.1:

$$t_c = 1,42 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad (\text{Equação 3.1})$$

em que:

t_c : tempo de concentração (h);

L: comprimento do curso d'água (km);

H: desnível máximo (m).

Já para a precipitação de projeto são inúmeros os métodos para sua obtenção, na área de estudo foi utilizada uma equação que utiliza o modelo das curvas intensidade-duração-frequência (i-d-f). A Equação 3.2 foi proposta para o município de Goiânia por Costa e Prado (2003) a partir de registros pluviográficos na região do cerrado goiano para o período de retorno entre $1 \text{ ano} \leq T \leq 8 \text{ anos}$, e vem sendo amplamente utilizada para estudos hidrológicos em Goiânia. Esta equação possui a forma:

$$i = \frac{56,7928 \cdot \left(T^{0,1471 + \frac{0,22}{T^{0,09}}} \right)^{0,6274}}{(t + 24,8)^{0,974711}} \quad (\text{Equação 3.2})$$

em que:

i : intensidade pluviométrica (mm/min);

T: período de retorno (anos);

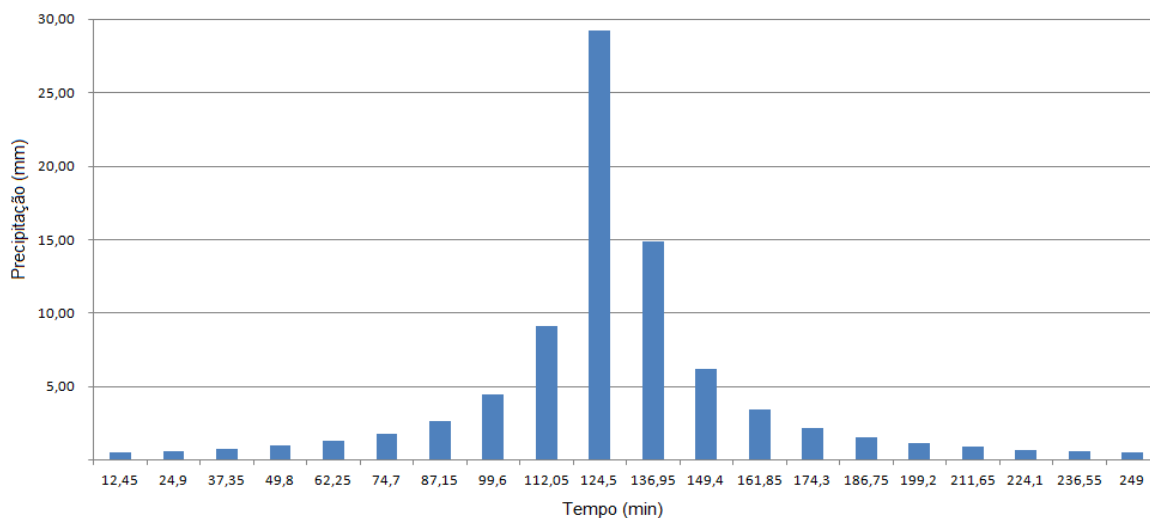
t: duração da precipitação (min).

Aplicando-se a Equação 3.2 encontrou-se a intensidade da chuva para um tempo de retorno (T) de 5 anos, como sugere Tucci (2001) para a microdrenagem de áreas com ocupação caracterizada por residências e comércios, caso verificado na área de estudo.

3.3.6 Hietograma

O hietograma de projeto (Figura 3.7) para o evento de chuva de 249 min foi obtido a partir do método dos blocos alternados, baseado no arranjo 5-3-1-2-4-6 conforme recomenda o método *Soil Conservation Service* (SCS):

Figura 3.7 – Hietograma para uma precipitação de projeto de 249 minutos, referente ao tempo de concentração da bacia de estudo.



Fonte: Elaborado pela autora.

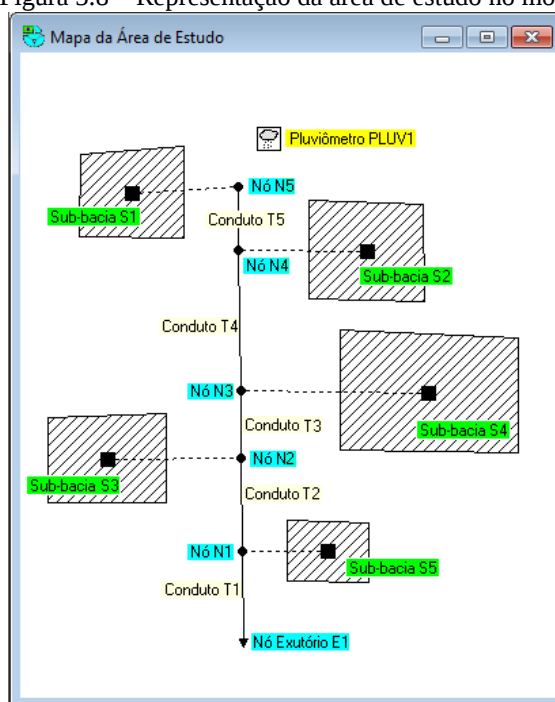
E ainda para a elaboração do hietograma da Figura 3.7 foram feitas as etapas sugeridas por Damé *et al.* (2010):

1. Seleção da duração total da precipitação e do intervalo de discretização (Δt);
2. Obtenção da intensidade de precipitação para cada duração, a partir da Equação 3.2;
3. Transformação das intensidades em alturas de precipitação e acumuladas até o último intervalo de tempo;
4. Cálculo dos incrementos dos totais acumulados por intervalo;
5. Rearranjo dos incrementos ou blocos, obtidos em uma sequência tal que, no centro da duração da precipitação, se situe o bloco maior e, em seguida, os demais.

3.3.7 Modelação das sub-bacias no SWMM

A bacia do Córrego Samambaia foi representada no modelo SWMM através de 5 sub-bacias interconectadas a 5 nós e 1 exutório, e o córrego dividido em 5 trechos (correspondentes aos trechos de cada sub-bacia), além do pluviômetro (para simulação da chuva), como mostra a Figura 3.8.

Figura 3.8 – Representação da área de estudo no modelo SWMM.



Fonte: Elaborado pela autora.

Para cada um dos 5 nós e para o exutório do projeto foram inseridas as cotas do radier, que seriam as cotas mais profunda do córrego em cada trecho, e estão relacionadas com a declividade do curso d'água em cada ponto do projeto (Figura 3.9).

E para cada conduto, que representa cada trecho do córrego, foram definidos (Figura 3.9):

- A forma como sendo “RECT_OPEN”, que representa melhor o formato do córrego, com a inserção dos dados de profundidade máxima e largura de base de cada trecho;
- O comprimento de cada trecho;
- E o coeficiente de rugosidade de *Manning* do curso d'água.

Figura 3.9 – Dados inseridos para cada nó e conduto no modelo SWMM.

Nó N1

Propriedades	Valor
Identificador	N1
X-Coordinate	1799.660
Y-Coordinate	3752.122
Descrição	
Etiqueta	
Afluência	NO
Tratamento	NO
Cota do radier	16.35
Profundidade Max.	0
Profundidade Inicial	0
Profundidade de Sobrecarga	0
Área alagada	0

Identificador da conexão escolhida pelo usuário.

Conduto T1

Propriedades	Valor
Identificador	T1
Nó de entrada	N1
Nó de saída	E1
Descrição	
Etiqueta	
Forma	RECT_OPEN ...
Profundidade Max.	1.5
Comprimento	2336.3
n-Manning	0.025
Offset de entrada	0
Offset de saída	0
Fluxo inicial	0
Fluxo Máximo	0
Coef. Perda na Entrada	0
Coef. Perda na Saída	0
Coef. Perda Média	0
Dispositivo de Retenção	NO
Código do Bueiro	

Clique para editar as propriedades geométricas da seção transversal do conduto

Editor de Seção Transversal

Forma: RECT_OPEN

Quantidade em Paralelo: 1

Profundidade Max.: 1.5

Dimensões: Metros

Largura da Base: 1.4

Canal retangular aberto.

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 3.10 mostra quais os dados de entrada para cada sub-bacia e a série temporal para a modelagem no SWMM:

Figura 3.10 – Dados inseridos para cada sub-bacia e série temporal no modelo SWMM.

Sub-bacia S1

Propriedades	Valor
Identificador	S1
Coordenada X	420.204
Coordenada Y	8230.051
Descrição	
Etiqueta	
Pluviômetro	PLUV1
Exutório	N5
Área	591.65
Largura	1220.11
% Declividade	1.55
% Impermeável	70
n-Impermeável	0.011
n-Permeável	0.15
PA-Impermeável	1.9
PA-Permeável	5.08
% A. imp s/ arm.	70
Propag. Escoamento	OUTLET
% Propagada	100
Infiltração	CURVE_NUMBER ...
Águas Subterrâneas	NO
Acumulação de Neve	

Modelos de Infiltração (clique para editar)

Editor de Infiltração

Modelo de Infiltração: CURVE_NUMBER

Propriedade	Valor
Número-Curva	78
Conductividade	0.5
Tempo Seco	7

Este é o número da curva SCS, que é tabelado na publicação SCS Hidrologia Urbana para pequenas bacias hidrográficas, 2. Ed. (TR-55) de junho de 1986

OK Cancelar Ajuda

Editor de Série Temporal

Nome da Série Temporal: CHUVA

Descrição:

☐ Utilizar arquivo de dados externo. Nomeado a seguir:

☒ Inserir os dados da série temporal da tabela abaixo

Dados sem data se referem ao início da simulação

Data (D/M/Y)	Tempo (H:M)	Valor
	00:00	0
	00:01	0.04
	00:02	0.04
	00:03	0.04
	00:04	0.04
	00:05	0.04
	00:06	0.04
	00:07	0.04
	00:08	0.04

Visualizar...

OK Cancelar Ajuda

Fonte: Elaborado pela autora.

Para cada uma das 5 sub-bacia foram inseridos os seguintes dados: área, largura, declividade, área impermeável, número-curva, coeficiente de rugosidade de *Manning* para superfície permeável e impermeável, capacidade de armazenamento em depressões para

superfície impermeável e permeável e área impermeável sem armazenamento. Lembrando que a área impermeável e curva-número variaram de acordo com cada período e cenário proposto.

E por último foi inserido o pluviômetro que está relacionado com a série temporal definida através dos cálculos da precipitação efetiva e da precipitação de projeto. O tempo da chuva de 249 min foi discretizado em períodos com o mesmo intervalo (1 em 1 minuto, Figura 3.10). Os dados de entrada da chuva de 249 min para modelagem no SWMM são apresentados no Apêndice A.

No capítulo seguinte serão apresentados os resultados principais destas simulações, bem como suas análises, aplicabilidade e recomendações.

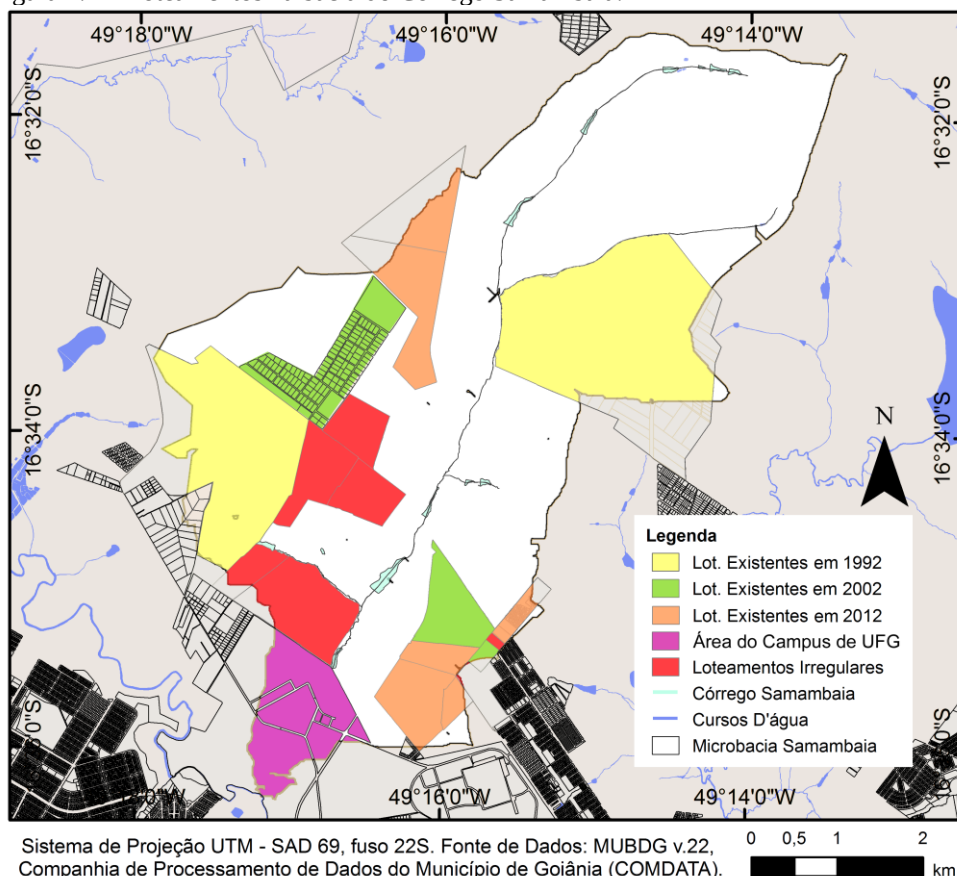
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados encontrados a partir da metodologia apresentada anteriormente. No subitem 4.1 estão os resultados referentes à análise multitemporal do uso e ocupação do solo na bacia do Córrego Samambaia no período histórico determinado para este trabalho, de 1992 a 2012. O subitem 4.2 apresenta os resultados hidrológicos referentes à aplicação do modelo SWMM na bacia, enquanto que o subitem 4.3 destaca as sub-bacias mais vulneráveis hidrologicamente da área de estudo. O último subitem deste capítulo (4.4) representa uma síntese dos subitens anteriores, com a proposição de um planejamento urbano adequado para a bacia do Córrego Samambaia.

4.1 EVOLUÇÃO URBANA NA BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA

Através dos documentos de aprovação de parcelamentos encontrados na Prefeitura Municipal de Goiânia, foi possível verificar o ano de aprovação de cada loteamento localizado na bacia de estudo (Figura 4.1).

Figura 4.1 – Loteamentos na bacia do Córrego Samambaia.

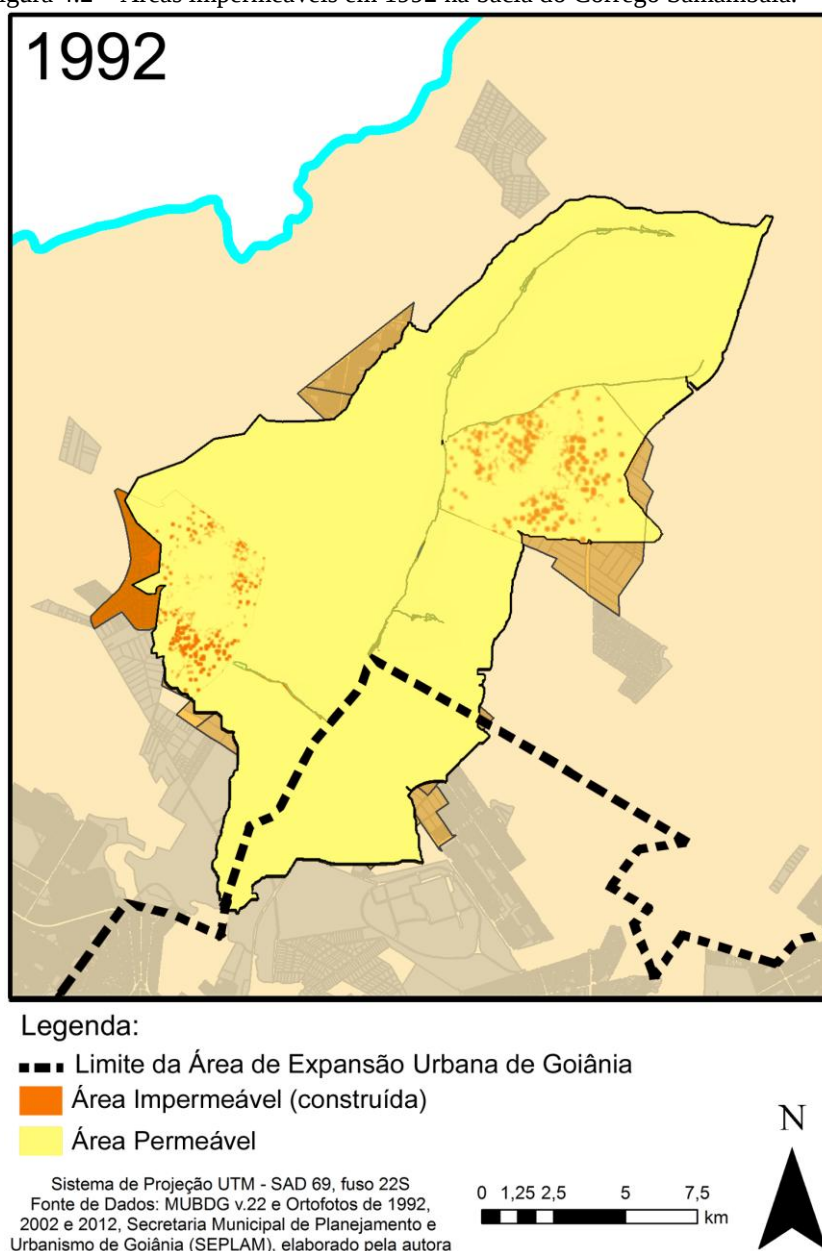


Fonte: Adaptado de Rocha *et al.* (2012).

A partir dos dados coletados nos CENSOs (1991, 2000 e 2010), nas Imagens de Satélite (2002 e 2012) e nos Planos Diretores de Goiânia (1967, 1994 e 2007) conclui-se que a evolução urbana na bacia do Córrego Samambaia aconteceu conforme os interesses da especulação imobiliária do município, que conseguiu inserir as glebas de seu interesse na área de expansão urbana de Goiânia, para que as mesmas se tornassem passíveis de parcelamento urbano, aumentando assim a quantidade de lotes para venda.

Em 1992 (Figura 4.2) a área da bacia estava praticamente toda em zona rural, com a existência de dois loteamentos de chácaras, ainda pouco urbanizados.

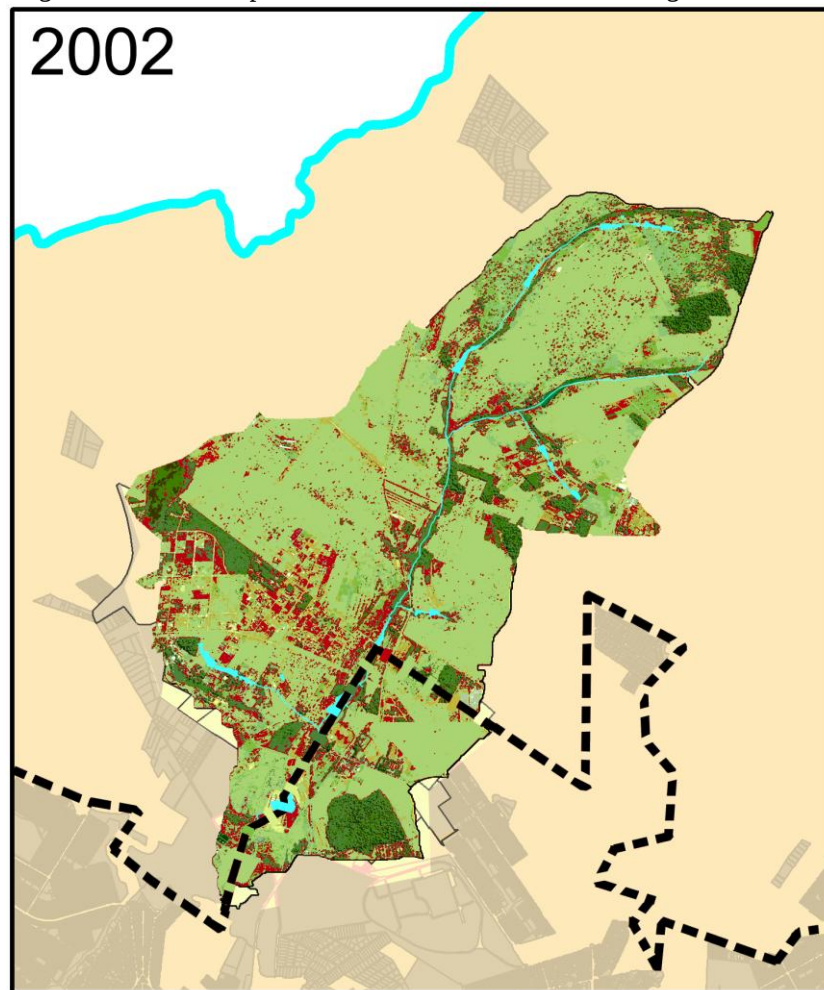
Figura 4.2 – Áreas impermeáveis em 1992 na bacia do Córrego Samambaia.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em 2002 (Figura 4.3) observou-se que a expansão da ocupação urbana no município de Goiânia, motivada pelo baixo preço dos lotes, foi direcionada para as regiões consideradas inadequadas para urbanização na porção Norte do município. Mesmo com maior parte de sua área ainda em zona rural, observa-se que em 2002 a bacia começou a ser loteada, inclusive de forma irregular, porque as chácaras das zonas rurais começaram a ser loteadas sem aprovação prévia na Prefeitura, e estes loteamentos foram feitos em desacordo com a legislação.

Figura 4.3 – Áreas impermeáveis em 2002 na bacia do Córrego Samambaia.



Legenda:

- Limite da Área de Expansão Urbana de Goiânia
- Classe 1 - Área Construída
- Classe 2
- Classe 3
- Córrego Samambaia

Sistema de Projeção UTM - SAD 69, fuso 22S
 Fonte de Dados: MUBDG v.22 e Ortofotos de 1992, 2002 e 2012, Secretaria Municipal de Planejamento e Urbanismo de Goiânia (SEPLAM), elaborado pela autora

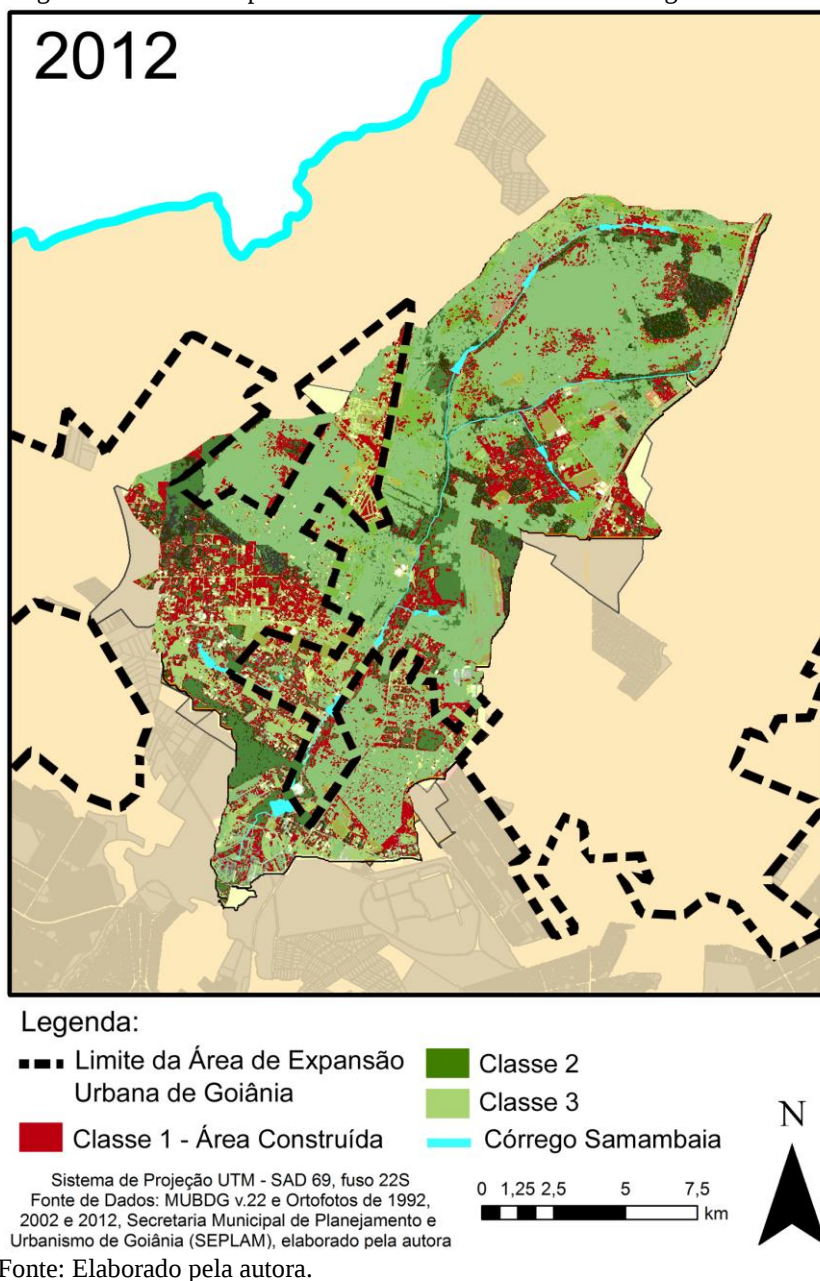
Fonte: Elaborado pela autora.

0 1,25 2,5 5 7,5 km



No ano de 2012 (Figura 4.4) nota-se que a especulação imobiliária conseguiu inserir as áreas de seu interesse na área de expansão urbana do município através do Plano Diretor de 2007, ou seja, aumentando assim as áreas passíveis para loteamentos. O grande número de recortes na área de expansão urbana é notável neste momento, contornando grandes áreas de fazendas importantes na região. Estes recortes foram justificados pelo poder público como sendo áreas de interesse social, para a construção de casas populares.

Figura 4.4 – Áreas impermeáveis em 2012 na bacia do Córrego Samambaia.



Entre os anos de 1992 e 2002 a área impermeável mais que dobrou, enquanto que no período seguinte de 2002 e 2012 a área impermeável aumentou 58,06%, incrementos que

aconteceram após a inserção de parcelas da bacia no perímetro urbano pelos Planos Diretores, aumentando assim a aprovação de loteamentos na região.

As famílias com baixo poder aquisitivo adquirem os lotes nestes parcelamentos clandestinos por conta do baixo custo deles em relação ao mercado formal. Entretanto acabam tendo que se unirem e, junto à Prefeitura Municipal, regularizarem seus lotes e o loteamento como um todo para que possam receber o mínimo de infraestrutura.

Cabe ressaltar que toda esta evolução urbana observada na bacia, de maneira geral, aconteceu de forma contrária à conservação ambiental, porque foi retirada grande parte da mata ciliar ao longo do córrego e existem atualmente pouquíssimas áreas de preservação permanente, enquanto que a geração de lixo e esgoto vem contribuindo para a má qualidade da água do manancial.

Para tanto, foram listadas no Quadro 4.1 as ações impactantes identificadas na bacia do córrego Samambaia, bem como as propostas de medidas mitigadoras, a fim de se melhorar a qualidade ambiental da bacia.

Quadro 4.1 – Ações impactantes identificadas na bacia do Córrego Samambaia e medidas mitigadoras.

Ações impactantes na bacia	Medidas mitigadoras
Lançamento de efluentes sanitários <i>in natura</i> .	Implantar redes coletoras de esgotamento sanitário, fiscalizar o despejo de esgoto, e promover a educação ambiental da população local, para que estes lançamentos não aconteçam.
Disposição inadequada de resíduos sólidos domiciliares “à céu aberto” nas proximidades das margens do córrego.	Remover o lixo e entulhos disposto próximo às margens e implantar programa de gerenciamento municipal de resíduos sólidos, contemplando redução da geração na fonte, reutilização, reciclagem e coleta seletiva, com encaminhamento do rejeito para o aterro sanitário.
Remoção das matas ciliares.	Implantar projeto de recuperação e recomposição das matas ciliares ao longo do curso d’água e das nascentes; promover atividades de conscientização da população que vive no entorno; fiscalizar e coibir a atividade e punir os infratores de acordo com a legislação vigente.
Expansão urbana à montante da captação.	Limitar as áreas passíveis de expansão urbana, para recuperar e manter a qualidade e quantidade das águas do córrego destinadas ao tratamento e ao abastecimento público, visando conservar esta fonte de água para as presentes e futuras gerações.
Aprovação de loteamentos em desacordo com os sistemas de drenagem existentes.	Acrescentar à fase de aprovação de loteamentos uma etapa que verifique os parcelamentos quanto às condições de macro e micro drenagem urbana, analisando as curvas de níveis e os sistemas de drenagem já existentes, adaptando-os ou ampliando-os de acordo com a nova demanda.

(continua)

Quadro 4.1 – Ações impactantes identificadas na bacia do Córrego Samambaia e medidas mitigadoras.

(continuação)

Ações impactantes na bacia	Medidas mitigadoras
Ocupação espontânea nos fundos de vale, nas áreas de nascentes e outras áreas de preservação permanente.	Fiscalizar os fundos de vale constantemente, para que os mesmos não sejam ocupados irregularmente; reassentar moradores que já estão nestes locais, que geralmente são áreas de ricos, e recuperar as áreas degradadas. Também pode-se promover junto à comunidade local programas de Educação Ambiental, visando à sensibilização, conscientização e ação de moradores e empreendedores imobiliários, de modo a criar uma visão sustentável do uso do solo nas margens dos rios e melhoria da qualidade de suas águas.
Contaminação da água.	Monitorar sistematicamente e de forma permanente a qualidade das águas do córrego e descobrir as fontes poluidoras para evitá-las e eliminá-las.
Impermeabilização, redução da infiltração das águas no solo, aumento do volume e da velocidade do escoamento das águas pluviais.	Revisar as áreas livres passíveis de ocupação, e aumentar a porcentagem das áreas permeáveis para a aprovação de novas construções e loteamentos.
Assoreamento nas planícies de inundações.	Realizar operações de limpeza dos rios, com a retirada de sedimentos e resíduos sólidos.
Degradação das nascentes e cabeceiras.	Implementar ações de requalificação ambiental nas nascentes e áreas circundantes, com a identificação e catalogação da vegetação degradada para o replantio e acompanhamento; definição mais restritiva do uso do solo em Áreas de Preservação Permanentes.
Rompimento de pavimentos, redes de água e esgoto, calçadas e edificações públicas.	Implantar programas de manutenção das galerias pluviais visando evitar danos à essas estruturas, bem como identificar e eliminar ligações clandestinas de esgoto, reduzindo assim os custos operacionais dos sistema de produção de água tratada e os prejuízos materiais, aumentando a vida útil dos equipamentos.
Acúmulo de lixo na captação, ocasionando a paralisação da produção de água pelo excesso de poluentes, formação de espumas na Estação de Tratamento de Água (ETA).	Construir redes de águas pluviais com infiltração, detenção e com ponto de lançamento final à jusante da captação de água. E implantar coleta sistemática de resíduos sólidos nas propriedades e dar a destinação adequada a eles no aterro sanitário, diminuindo assim as despesas com obras de recuperação do sistema de tratamento.
Dificuldades para a operação e manutenção da ETA para a manutenção da potabilidade da água conforme determina a Portaria nº 2714/11 do Ministério da Saúde.	Realizar campanhas educativas nos bairros do entorno para conter os lançamentos de resíduos sólidos e efluentes inadequadamente. E eliminar e/ou controlar as atividades potencialmente poluidoras localizadas à montante da captação, evitando assim o comprometimento do abastecimento de água em Goiânia e região.

(continua)

Quadro 4.1 – Ações impactantes identificadas na bacia do Córrego Samambaia e medidas mitigadoras.

(continuação)

Ações impactantes na bacia	Medidas mitigadoras
Dificuldades de comunicação entre os órgãos responsáveis pelo planejamento urbano, planejamento ambiental e operação da ETA	Realizar reuniões e maior intercâmbio entre os órgãos competentes, principalmente entre a secretaria de planejamento urbano, a agência do meio ambiente, a agência de obras e a SANEAGO. Divulgar todas as ações a serem realizadas, mantendo informadas todas as instâncias.

Fonte: Elaborado pela autora.

4.2 RESULTADOS DA MODELAÇÃO NO SWMM DA BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA

Para a simulação do escoamento superficial dentro do modelo SWMM foram fornecidos os dados de entrada apresentados na metodologia deste trabalho. A precipitação foi calculada para cada minuto de chuva até o tempo final de sua duração, mesmo intervalo computacional utilizado nas simulações do módulo *Runoff* do SWMM. E esta discretização temporal (a cada um minuto) apresenta melhores resultados de simulação, como constatou Souza *et al.* (2012).

Para o tempo de retorno de 5 anos a intensidade pluviométrica encontrada foi de 20,17mm/h para uma chuva de 249 min. Os principais resultados obtidos na simulação do SWMM são apresentados na Tabela 4.1, e na Figura 4.5 está o hidrograma para este evento de chuva. Os resultados completos gerados no SWMM para cada período e cenário deste estudo são apresentados no Apêndice B.

Tabela 4.1 – Resultados obtidos no modelo SWMM para uma chuva de 249 min.

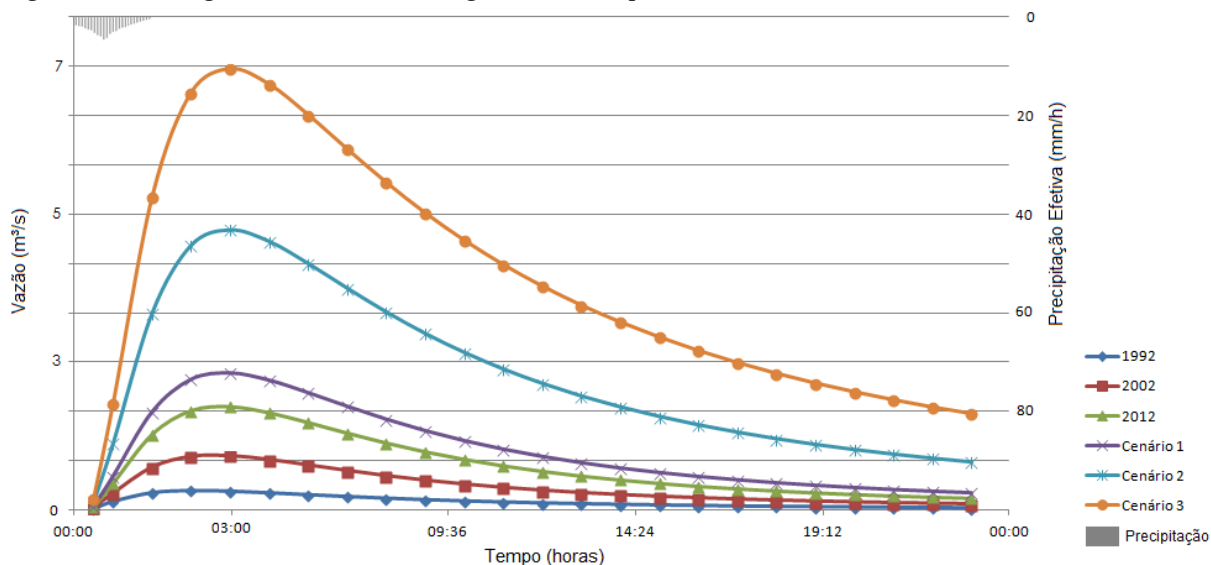
Variáveis analisadas	Resultados obtidos					
	1992	2002	2012	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Vazão de Pico (m ³ /s)	1,09	1,87	2,66	3,14	4,90	6,71
Tempo de Pico (horas)	02:18	02:29	02:35	02:36	02:47	02:58
Escoamento total (mm)	0,16	0,38	0,76	1,01	2,22	3,85
Volume total (10 ⁶ L)	1,05	2,77	5,13	6,83	14,76	25,39
Infiltração (mm)	1,32	1,20	1,07	0,99	0,70	0,42

Fonte: Elaborado pela autora.

Observa-se que para cada período e cenário deste estudo as hidrógrafas do hidrograma (Figuras 4.5) apresentam intensas variações, porque conforme acontece o aumento das áreas impermeáveis na bacia, as vazões aumentam em proporções muito

maiores, fato que é claramente observado na comparação da hidrógrafa do período de 1992 com a hidrógrafa do Cenário 3.

Figura 4.5 – Hidrograma da bacia do Córrego Samambaia para uma chuva de 249 min.



Fonte: Elaborado pela autora.

Neste evento de chuva se observou uma redução da infiltração conforme o solo é impermeabilizado. Já o volume escoado aumenta conforme as áreas impermeáveis são maiores, entretanto este incremento é bem maior do que o verificado na infiltração.

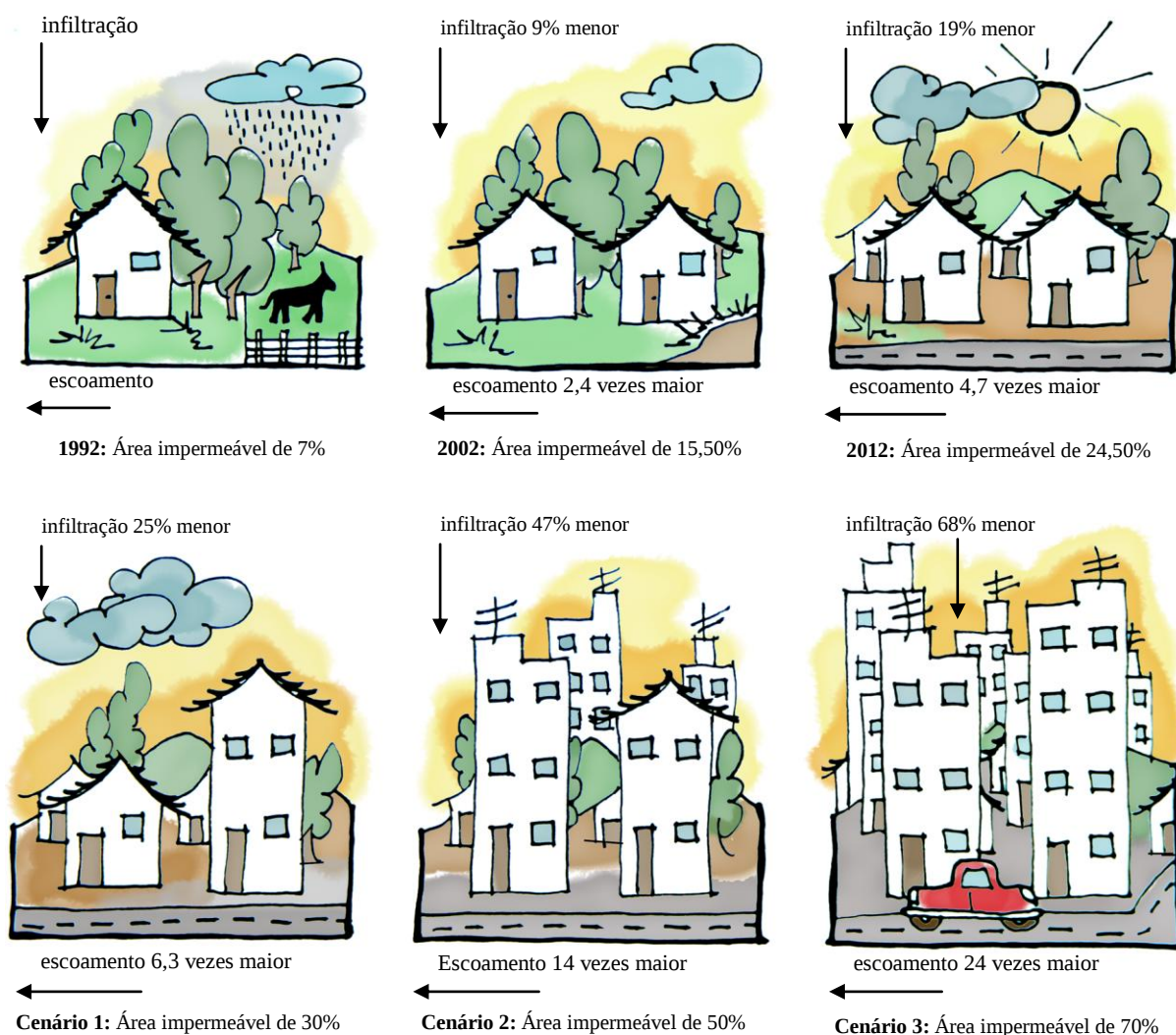
Através dos dados obtidos na modelação no SWMM foi possível observar o efeito da urbanização no balanço hídrico da bacia do Córrego Samambaia, com o considerável aumento do escoamento superficial e a representativa diminuição da infiltração em todos os períodos e cenários após 1992.

Nesta etapa ficou evidente a importância do uso das geotecnologias (sistemas de SIG) e do modelo hidrológico SWMM como ferramentas eficientes para armazenamento, tratamento, cruzamento e espacialização de informações da superfície terrestre, as quais proporcionam subsídios relevantes para o planejamento urbano.

Para visualizar melhor estas relações foi elaborada a Figura 4.6. Todas as relações foram comparadas com as condições iniciais do primeiro período deste estudo, em 1992, quando o solo possuía apenas 7% de área impermeável.

Nota-se que quando a área impermeável passa da situação de 30% (Cenário 1) para 50% (Cenário 2), a infiltração passa a ser menor. E a situação torna-se mais agravante para o Cenário 3, com 70% de área impermeável, onde a infiltração é quase 70% menor que a inicial, em 1992, quando a área impermeável era de 7%.

Figura 4.6 – Efeito da urbanização no balanço hídrico da bacia do Córrego Samambaia para uma chuva de 249 min.



Obs.: Todas as relações dos períodos e cenários foram comparadas com período inicial, em 1992.

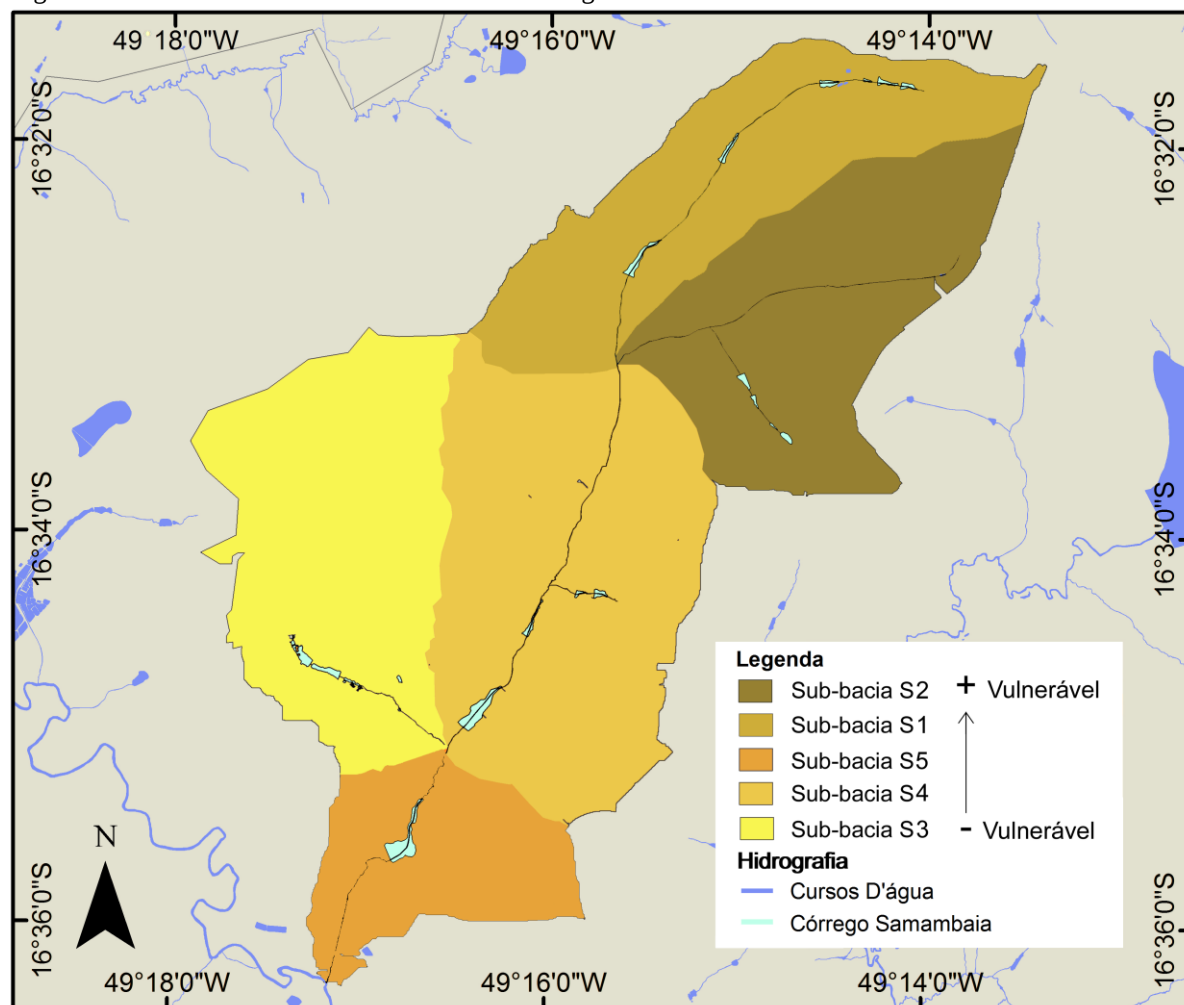
Fonte: Elaborado pela autora.

No panorama do escoamento superficial as relações são ainda mais intensas, em que o escoamento do Cenário 3, para uma chuva de 249 min, é aproximadamente 24 vezes maior que o período inicial em 1992. Ou seja, um incremento de 10 vezes na área impermeável gera um aumento de 24 vezes no escoamento superficial.

4.3 VULNERABILIDADE HIDROLÓGICA DAS SUB-BACIAS DO CÓRREGO SAMAMBAIA

Com intuito de identificar a vulnerabilidade hidrológica das sub-bacias do Córrego Samambaia, foram analisados os resultados de escoamento e infiltração de cada uma delas na modelagem do SWMM (Figura 4.7).

Figura 4.7 – Vulnerabilidade das sub-bacias do Córrego Samambaia.



Fonte: Elaborado pela autora.

Nesta análise verificou-se que a sub-bacia mais vulnerável do ponto de vista hidrológico é a Sub-bacia S2, porque o terreno desta parcela da bacia possui terrenos mais baixos, com cotas próximas às do córrego, com áreas mais passíveis de alagamentos. Apesar da Sub-bacia S2 estar pouco urbanizada, ela possui 2 nascentes do córrego, então conclui-se que ela merece maior preservação ambiental e menor ocupação urbana. A Sub-bacia S1 tem características semelhantes às da Sub-bacia S2, entretanto possui apenas uma nascente. Ela também precisa ser preservada do ponto de vista ambiental.

Na Sub-bacia S5 encontra-se o exutório da bacia, ou seja, o córrego é mais cheio e é um trecho com maior velocidade das águas. Então é necessário que às margens deste trecho estejam livres de ocupação, e que o restante da área não seja totalmente impermeabilizado.

Já as Sub-bacias S4 e S5 são as áreas onde o relevo é mais plano, com menor ocorrência de enchentes e alagamentos, e são os locais mais apropriados para a ocupação urbana, desde que não haja a retirada das áreas verdes e que às margens não sejam ocupadas.

A seguir serão apresentadas algumas propostas para o planejamento urbano da bacia, visando diminuir os impactos causados pela ocupação urbana nos recursos hídricos.

4.4 PLANEJAMENTO URBANO PARA A OCUPAÇÃO DA BACIA DO CÓRREGO SAMAMBAIA

Constata-se que os modelos tradicionais de planejamento do espaço urbano apresentam certa resistência à ideia de utilização da bacia hidrográfica como unidade de análise, possivelmente pela dificuldade de entender a influência dos elementos naturais na ocupação da cidade. Entretanto, neste trabalho fica clara a importância de se reconhecer o meio ambiente como um dos fatores norteadores do planejamento urbano, sendo a forma mais adequada para se zonear e entender as características do território.

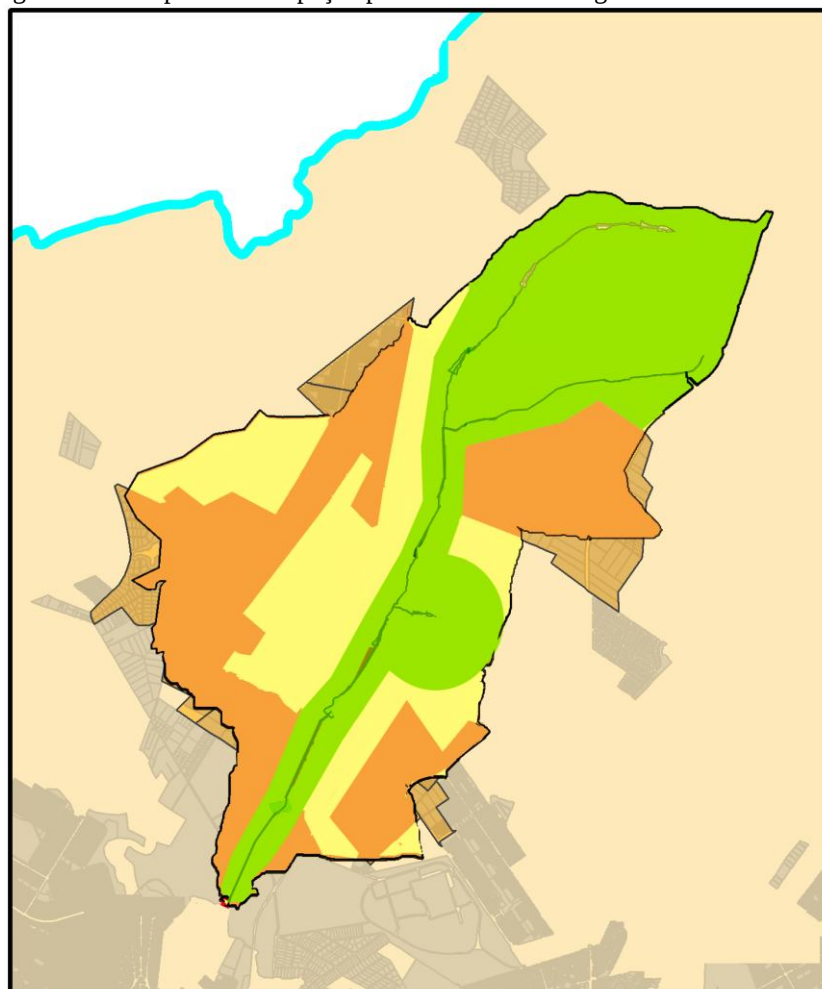
Antes de se determinar índices de ocupação para a bacia é preciso entender que do ponto de vista ambiental e da drenagem natural, o ideal seria manter a bacia de forma intacta, como estava antes da ocupação humana, ou pelo menos mantê-la como está atualmente. Entretanto, do ponto de vista urbanístico não seria possível manter a bacia de agora em diante sem nenhuma alteração em suas áreas impermeáveis, isso porque as áreas urbanas precisam se desenvolver para aumentar sua capacidade e abrangência para as populações atuais e futuras.

A partir deste pressuposto, analisando a evolução urbana na bacia, os resultados obtidos na aplicação do modelo hidrológico SWMM e a vulnerabilidade hidrológica de cada sub-bacia, observou-se que quando a bacia atinge o Cenário 1 e 2, 30% e 50% de área impermeável, respectivamente, as alterações são significativas com relação à infiltração e ao escoamento superficial. Mas se houver um manejo adequado do meio urbano e a manutenção das sub-bacias mais vulneráveis com pouca urbanização, ainda é possível obter uma drenagem urbana satisfatória e manter os padrões de qualidade da água e vazões necessárias para o manancial de abastecimento público.

No entanto, a partir do Cenário 2, como a exemplo do Cenário 3 (70% de área impermeável), as alterações no escoamento e infiltração se tornam de difícil controle, porque as áreas mais vulneráveis passariam a ser ocupadas, e mesmo com grandes obras de engenharia sanitária aconteceriam enchentes e problemas de drenagem, porque são alterações muito significativas com relação às situações constatadas no períodos e cenários anteriores. Sem contar que para este cenário a qualidade da água provavelmente seria imprópria para o abastecimento público, inviabilizando o córrego para esta função.

Portanto, para a determinação dos índices de ocupações da bacia do Córrego Samambaia, considerou-se o limite de ocupação urbana o Cenário 2, com 50% de área impermeável, o que seria 25,5% a mais do que existe atualmente na área. Para tanto, foi elaborado um mapa com a proposta de ocupação para a bacia na Figura 4.8.

Figura 4.8 – Proposta de ocupação para a bacia do Córrego Samambaia.



Legenda:

- Loteamentos Existentes
- Área com 50% de índice de permeabilidade
- Área de Proteção Permanente - Parque Municipal

Sistema de Projeção UTM - SAD 69, fuso 22S
 Fonte de Dados: MUBDG v.22 e Ortofotos de 1992,
 2002 e 2012, Secretaria Municipal de Planejamento e
 Urbanismo de Goiânia (SEPLAM), elaborado pela autora

Fonte: Elaborado pela autora.

0 1,25 2,5 5 7,5
 km



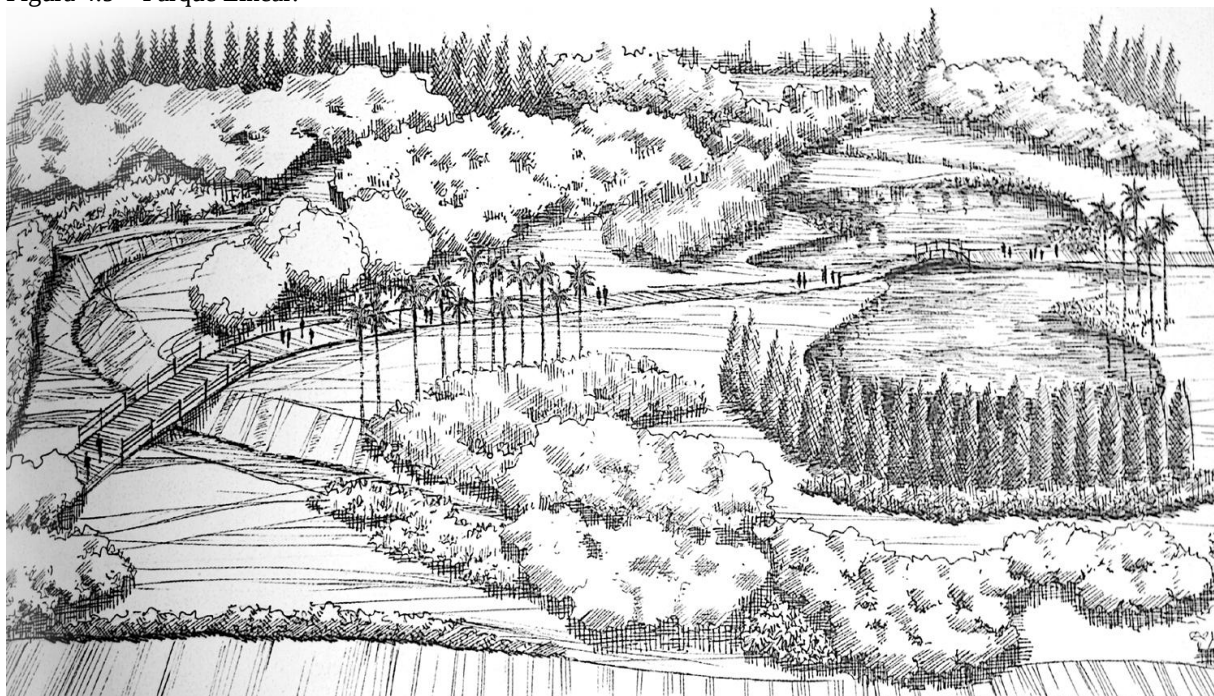
Na proposta foi sugerido um Parque Municipal Linear ao longo do Córrego Samambaia, representado com a cor verde na Figura 4.8, que abrigaria às faixas bilaterais de 30m contíguas ao córrego, mais as áreas circundantes das nascentes com um raio de 100m, exigidas pelo Plano Diretor de 2007 de Goiânia, contemplando também a legislação do

Código Florestal. Próximas às nascentes principais ainda foram acrescentadas algumas áreas remanescentes, porque elas se encontram entre duas nascentes, possuem difícil acesso e são áreas vulneráveis do ponto de vista hidrológico.

É importante à existência de vegetação ao longo dos rios e ao redor de lagos e reservatórios, seja ela nativa ou não, trazendo uma gama de benefícios ao ecossistema, exercendo função protetora sobre os recursos naturais bióticos e abióticos. Com relação aos recursos bióticos, as matas ciliares criam condições favoráveis para a sobrevivência e manutenção do fluxo gênico entre populações de espécies animais que habitam as faixas ciliares ou mesmo fragmentos florestais maiores que podem ser por elas conectados. Em relação aos recursos abióticos, as florestas localizadas junto aos corpos d'água desempenham importantes funções hidrológicas, compreendendo: proteção da zona ripária, filtragem de sedimentos e nutrientes, controle do aporte de nutrientes e de produtos químicos aos cursos d'água, controle da erosão das ribanceiras dos canais e controle da alteração da temperatura do ecossistema aquático (ARAÚJO *et al.*, 2009).

Com a implantação do Parque Linear (Figura 4.9) haveria o reflorestamento e recomposição da mata ciliar que foi retirada ao longo dos anos nos fundos de vale do Córrego Samambaia. O processo de recomposição poderá ser feito através da sucessão secundária para a elaboração de modelos de revegetação e recuperação ambiental.

Figura 4.9 – Parque Linear.



Fonte: Abbud (2006).

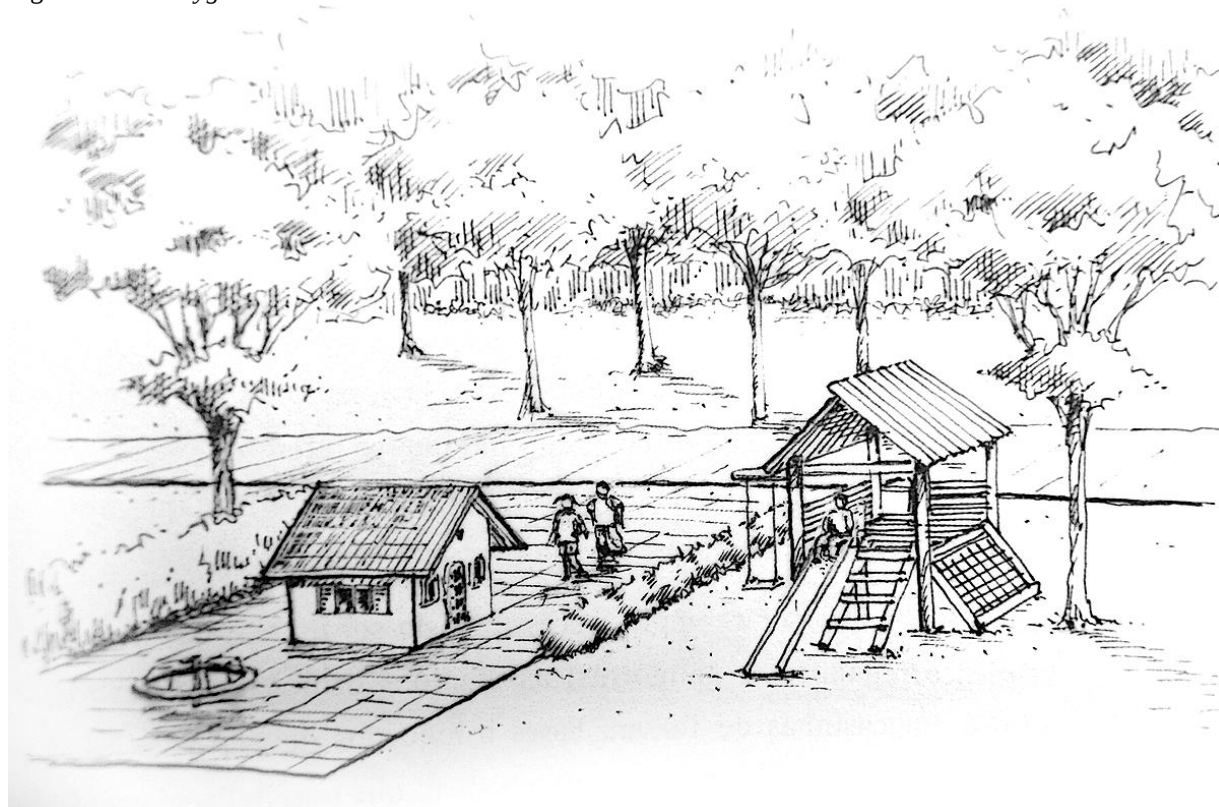
Além das áreas verdes, propõem-se para este parque a construção dos equipamentos públicos relacionados no Quadro 4.2. A sociedade ao se apropriar e fazer uso de um território compartilha o domínio das condições de produção e reprodução da vida, além de ajudar na proteção e fiscalização desta área.

Quadro 4.2 – Equipamentos a serem implantados ao longo do Parque Municipal.

Equipamentos	Ambientes/Atividades
Bacias de Detenção	Bacias para a estocagem da água em períodos chuvosos, e nos períodos de estiagem funcionariam como quadras para a prática de futebol de várzea, futsal, handball, jogo de peteca, vôlei, basquete etc.
Área de Convivência e Lazer	Esta área deve estar integrada às áreas verdes, propiciando aos moradores momentos de lazer, contemplação e convivência, com bancos, pergolados, mirantes etc.
Pista de Cooper e Equipamentos esportivos	Pista ao longo do parque e equipamentos esportivos (barras, locais para abdominais, etc.) para estimular os moradores a praticarem esportes e terem uma vida mais saudável.
<i>Playground</i> (Figura 4.10)	Local de lazer para as crianças menores, com brinquedos como gangorra, escorregador, roda, balanço etc.

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 4.10 – *Playground*.



Fonte: Abbud (2006).

Para os loteamentos já existentes, as novas construções nos lotes vagos deverão obedecer à legislação vigente, a lei de Parcelamento do Solo Urbano (Lei Federal nº 6.766, de

19 de dezembro de 1979), que exige 15% de índice de permeabilidade. Entretanto as novas construções deverão utilizar pavimentos permeáveis e semipermeáveis, para melhorar a infiltração da água em cada lote, e caso queira obter licença onerosa para construir mais do que o permitido em lei, deverão fazer o uso de reservatórios de detenção e retenção no lote.

As áreas remanescentes na bacia, área de cor amarela no mapa da Figura 4.8, seriam áreas passíveis de urbanização, entretanto com o limite máximo de 70% de áreas impermeáveis, mantendo assim os padrões necessários para um escoamento superficial suportável para este local, com o objetivo de se manter também uma qualidade da água adequada para o abastecimento público.

Sugere-se ainda para estas áreas remanescentes, que são áreas ainda não parceladas, que se construam equipamentos públicos (Quadro 4.3) que contribuam para o desenvolvimento humano e ambiental desta região, porque a bacia carece destes elementos urbanos. Isto poderá melhorar a qualidade de vida do cidadão que reside nas imediações destas áreas.

Quadro 4.3 – Equipamentos públicos que poderão ser implantados nas áreas remanescentes.

Equipamentos	Ambientes/Atividades
Escola de Educação Infantil (Creche)	Atender crianças de 0 a 6 anos em tempo integral, oferecendo educação e lazer, integrada às áreas verdes do parque.
Escola Municipal (Ensino Fundamental)	Atender crianças e adolescentes de 6 a 15 anos em tempo integral, oferecendo educação e lazer, integrada às áreas verdes do parque. Também com alfabetização de adultos, no período noturno.
Escola Estadual (Ensino Médio)	Atender adolescentes de 15 a 21 anos em tempo integral, oferecendo educação e lazer, integrada às áreas verdes do parque.
Posto de Saúde	Realização de consultas médicas, atendimento emergencial e procedimentos de baixa e média complexidade.
Reservatórios de detenção e retenção	Controle do escoamento na fonte, com a contenção e redução do escoamento superficial para melhorar a macrodrenagem da região.
Trincheiras de infiltração	Reduzir as vazões e melhorar a microdrenagem da região.

Fonte: Elaborado pela autora.

Caso sejam criados novos lotes residenciais nestas áreas remanescentes, as ruas de acesso devem estar de acordo com as curvas de nível, e se possível deve-se evitar cruzamentos, diminuindo assim a geração de mais áreas impermeáveis. O uso de ruas locais sem saída para o acesso dos lotes residenciais poderá gerar novas áreas verdes e diminuir o uso de pavimentação, contribuindo para a infiltração das águas pluviais.

Quanto às medidas de manejo específicas para o controle da erosão, sugere-se a rotação de culturas, a implantação de plantio direto e a recomposição e manutenção das matas ciliares.

No próximo capítulo será apresentada a conclusão e recomendações do estudo.

5 CONCLUSÃO/RECOMENDAÇÕES

Este trabalho estudou o planejamento urbano a partir de sítio urbano consolidado e em expansão, levando em consideração a macrodrenagem natural e a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento. Este mecanismo deve ser difundido entre os órgãos que gerem as cidades, porque através desta técnica é possível identificar as fragilidades ambientais de cada área, propondo-se então medidas que minimizem os impactos da urbanização nos recursos naturais, principalmente nos recursos hídricos.

A análise multitemporal da área se mostrou bastante válida, porque através dela foi possível identificar como a área se desenvolveu ao longo dos anos e quais são os agentes urbanos, e os impactos ambientais em cada período de estudo. Esta análise só foi possível a partir dos dados mapeados por imagens de satélite, que se mostraram fundamentais em estudos de planejamento territorial, principalmente o uso das ferramentas de SIG.

O modelo SWMM vem sendo amplamente utilizado em diversos países para a análise de cenários, entretanto no Brasil o seu uso é restrito pela falta de conhecimento e de mão de obra especializada. Este trabalho valida a aplicação do modelo hidrológico SWMM para a geração de informações e embasamento para futuras propostas de intervenções no planejamento urbano de bacias, com resultados satisfatórios.

Ainda quanto à modelagem no SWMM, sugere-se que para trabalhos futuros sejam inseridos os dados de qualidade da água. Estes dados não foram fornecidos pelos órgãos competentes para este estudo, mas caso fossem inseridos na modelação poderiam melhorar a verificação da influência da ocupação na qualidade da água.

Analisando os períodos estudados e os cenários propostos para a bacia do Córrego Samambaia, observou-se que o Cenário 2 (50% de área impermeável) seria o limite ideal de ocupação na área, principalmente com relação às sub-bacias mais vulneráveis. Portanto recomenda-se aos gestores que levem em consideração este percentual, para que a bacia continue sendo utilizada para o abastecimento público de água e tenha uma drenagem urbana satisfatória. Este índice pode ser alcançado com a alteração do Plano Diretor de Goiânia e a criação do Parque Linear ao longo do córrego.

Vale ressaltar que como ainda existem muitos lotes vazios na área de estudo, seria importante que a prefeitura incentivasse a comercialização imobiliária destes lotes já existentes, evitando assim a criação de novos parcelamentos urbanos, para isso existem as políticas públicas sugeridas pelo Estatuto das Cidades.

Considerando as práticas levantadas e sugeridas anteriormente, nota-se que a área de estudo necessita de planejamento a curto, médio e longo prazo (Quadro 5.1):

Quadro 5.1 – Medidas de planejamento a curto, médio e longo prazo na bacia do Córrego Samambaia.

Prazo	Medidas de planejamento
Curto	• Uso do geoprocessamento para monitorar a bacia, com atualização constante dos dados; • Implantação de equipamentos para o monitoramento do córrego auxiliando nos estudos hidrológicos e hidrodinâmicos e o levantamento de seções transversais do rio; • Levantamento detalhado da topografia das áreas de risco com espaçamentos entre as curvas de nível de 0,5 a 1,0 m, dependendo das condições do terreno; • Participação da população nas questões ambientais, além da educação ambiental nas escolas locais. • Fiscalização e monitoramento das ocupações ao longo da bacia. • Criação do Parque Linear ao longo do córrego.
Médio e Longo	• Alteração do Plano Diretor de Goiânia, destacando-se a alteração no índice de impermeabilidade da área de estudo. • Zoneamento ambiental a partir das bacias hidrográficas da cidade, levando em consideração as características físicas de cada bacia para o seu planejamento de ocupação urbana; • Plano Diretor de Drenagem Urbana para o Córrego Samambaia: o Plano Diretor deve ser elaborado considerando os aspectos de controle de inundações, atuando de forma integrada, evitando soluções que transfiram o problema para jusante. Portanto, a atuação conjunta entre o poder público, o comitê de bacia hidrográfica e a população local possibilitará soluções compatíveis com a realidade; • Zoneamento das áreas de risco, com a delimitação as áreas associadas a inundações de acordo com seu grau de risco de ocupação, permitindo a elaboração do planejamento de sua ocupação; • Planejamento do uso e ocupação do solo, determinando como as áreas deverão ser ocupadas; • Previsão de Cheia e Plano de Evacuação, com a implantação de um sistema de coleta e transmissão em tempo real dos dados de precipitação, vazão e nível, durante a ocorrência de eventos chuvosos; • Controle da erosão para reduzir o processo de assoreamento ao longo do córrego, com o reflorestamento ao longo da bacia, que também ajuda a aumentar o tempo de concentração da bacia e reduzir os picos de cheias; • Implantação de reservatórios de amortecimento de cheias: esta medida tem como objetivo principal armazenar uma parcela das vazões de enchente, de maneira a reduzir o pico de cheia.

Fonte: Elaborado pela autora.

As propostas e restrições apresentadas anteriormente foram elaboradas levando em consideração uma bacia de abastecimento público. Para que o manancial continue viável ao abastecimento, com padrões de qualidade de água mínimos para o tratamento, é preciso que sejam atendidas as considerações levantadas neste estudo.

É importante ressaltar ainda que para estas propostas terem efeito é preciso muito empenho dos gestores públicos, para que o planejamento urbano determinado para esta região seja cumprido, bem como a fiscalização desta área seja constante, evitando assim o despejo de esgotos clandestinos no córrego e as construções em desacordo com o padrão exigido pela legislação.

Este modelo de planejamento urbano proposto para bacia do Córrego Samambaia poderá ser aplicado em outras bacias hidrográficas, principalmente àquelas que estão passando por processo de urbanização. Entretanto deverão ser levantadas as particularidades de cada local, a fim de aprimorar e adaptar o modelo a cada região de estudo.

REFERÊNCIAS

- ABBUD, B. **Criando paisagens: guia de trabalho em arquitetura paisagística**. 2. ed. Editora Senac, São Paulo, 2006.
- ADORNO, K. Goiânia, seu Primeiro Plano Diretor e Aspectos Atuais da Realidade da Cidade: uma leitura ambiental. **Revista Anhangüera Goiânia**, v.3, n.1, jan./dez. p.77-100, 2002.
- ALBERTI, M.; Marzluff J. M.; SHULENBERGER, E.; BRADLEY, G.; RYAN, C.; ZUMBRUNNEN, C. Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems. **BioScience** 53(12), 2003.
- ALBUQUERQUE, A. R. da C. Bacia Hidrográfica: Unidade de Planejamento Ambiental. **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.4, N.4, p.201 – 209, 2012.
- AMORIM, H. A. A. **Afluências indevidas aos sistemas de drenagem de águas residuais**. Dissertação (Mestrado) da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2007.
- ARAÚJO, L. E. de; SOUSA, F. de A. S. de; KRAUSKOPF, J. M. de M.; SOUTO, J. S.; REINALDO, L. R. L. R. Bacias hidrográficas e impactos ambientais. **Qualit@s Revista Eletrônica**, Universidade Estadual da Paraíba, Vol.8, N.1, 2009.
- ARAÚJO, B. A. M.; SILVEIRA, C. da S.; SOUZA, J. L.; JÚNIOR, J. V. F. M.; ALMEIDA, F. A. F.; STUDART, T. M. de C. **Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias urbanas**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, 2011.
- BALABRAM, P. R. **Utilização de indicador geomorfológico para fixação de medidas de controle de cheias em áreas urbanas - Estudo de Caso: Brasília - DF**. Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.
- BARROS, R. M. **Previsão de Enchentes para o Plano Diretor de Drenagem Urbana de São Carlos (PDDUSC) na Bacia Escola do Córrego do Gregório**. Tese (Doutorado) da Escola de Engenharia da Universidade de São Carlos. São Carlos, SP, 2005.
- BARTALINI, V. A trama capilar das águas na visão cotidiana da paisagem. **Arquitextos**, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/09.108/51>>. Acesso em: 26 jun. 2011.
- BATISTELA, T. S. **O Zoneamento Ambiental e o desafio da construção da Gestão Ambiental Urbana**. Dissertação do Programa de Pós-graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília. Brasília, 2007.
- BENINI, R. M. **Cenários de Ocupação Urbana e Seus Impactos no Ciclo Hidrológico da Bacia do Córrego do Mineirinho**. Dissertação (Mestrado) em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

BORGES, L. B. **Avaliação da qualidade da água do Córrego Samambaia, Goiânia/GO.** Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Estadual de Goiás. Anápolis-GO, 2009.

CARVALHO, P. F. **Águas nas cidades: reflexões sobre usos e abusos para aprender novos usos.** In: BRAGA, R. & CARVALHO, P. F. de. (Org). Recursos hídricos e planejamento urbano e regional. 1ª ed. Rio Claro, 2003.

CARVALHO, M. de. **Calibração de modelos de drenagem urbana utilizando algoritmos evolucionários multiobjetivo.** 2011. Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2011.

CECÍLIO, R. A. **Aplicação da equação de Green-Ampt na modelagem da infiltração de água em latossolo vermelho-amarelo estratificado.** Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2002.

CHAUDHRY, M. H. **Open Channel Flow.** Prentice-Hall, 1993.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 1999.

CLINNICK, P. F. Buffer strip management in forest operations: a review. **Australian Forestry**, 48 (1): 34-45. Austrália, 1985.

COLET, K. M. **Avaliação do impacto da urbanização sobre o escoamento superficial na bacia do Córrego do Barbado, Cuiabá-MT.** Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Edificações e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2012.

COLLODEL, M. G. **Aplicação do modelo hidrológico SWMM na Avaliação de Diferentes Níveis de Detalhamento da Bacia Hidrográfica Submetida ao Processo de Transformação Chuva-Vazão.** Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Engenharia Civil, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos 146 p. 2009.

COSTA, A. R. da; PRADO, L. A. Espacialização de chuvas intensas para o Estado de Goiás e o sul de Tocantins. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.2, p.268-276. São Paulo, 2003.

COSTA, A. R.; SIQUEIRA, E. Q.; MENEZES FILHO, F. C. M. **Curso básico de Hidrologia Urbana: Nível 3.** ReCESA, p. 130. Brasília, 2007.

DAMÉ, R. de C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S.; ROSSKOFF, J. L. C. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.1, p.46-54. Campina Grande, PB, 2010.

DNIT. Manual de **Hidrologia básica para estruturas de drenagem.** Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2005.

DÉSTRO, G. F. G.; CAMPOS, S. SIG-SPRING na caracterização do uso dos solos a partir de imagens de satélite CBERS. **Revista Energia Agrícola**, Botucatu, vol.21, n.4, p.28-35, 2006.

ECHENIQUE, M. **Modelos: una discussion**. In. Martin, L.; March, L.; Echenique, M. La Estructura del Espacio Urbano. Ed. GG. Barcelona, 1975.

ELLIOT, A. H.; TROWSDALE, S. A. A Review of Model for Low Impact Urban Stormwater. **Environmental Modelling & Software**, 22 (2007), 394-405. 2007.

FARIA, G. G. de. As Leis de Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo: Instrumento para a Efetiva Gestão Compartilhada dos Recursos Hídricos. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Vol.4, N.3, 2011.

FERNANDES, M. R.; SILVA, J. C. **Programa Estadual de Manejo de Sub-Bacias Hidrográficas: Fundamentos e estratégias**. Belo Horizonte: EMATERMG. 24p. 1994.

FISRWG. **Stream Corridor Restoration: Principles, Processes, and Practices**. Federal Interagency Stream Restoration Working Group. Item No. 0120-A; SuDocs No. A 57.6/2:EN 3/PT.653. ISBN-0-934213-59-3. 1998.

FONTES, A. R. M.; BARBASSA, A. P. **Análises de Parâmetros Urbanísticos de Drenagem Pluvial**. In: XIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Porto Alegre, 2001.

GALINDO, E. F.; FURTADO, M. de F. R. de G. **Cidades e suas águas: gestão articulada para a sustentabilidade ambiental**. Cadernos Metrópole, n.15. São Paulo, EDUC: 2006.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA, E. M. C. D.; BRITES, A. P. Z.; PAIVA, R. C. D. **Avaliação da discretização em uma bacia hidrográfica urbana, através do modelo SWMM**. XXI Congresso Latioamericano de Hidráulica. São Pedro, São Paulo, 2004.

GARCIA, J. I. B.; PAIVA E. M. C. D. Monitoramento Hidrológico e Modelagem da Drenagem Urbana da Bacia do Arroio Cancela – RS. RBRH – **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.11, n 4, Out/Dez 2006, 99-108 pp. 2005.

GOUVÊA, L. A. **Biocidade: conceitos e critérios para um desenho ambiental urbano, em localidade de clima tropical de planalto**. Nobel, São Paulo, 2002.

GREEN, W. H.; AMPT, G. A. Studies on soil physics - Part I - The flow of air and water through soils. **J of Agric. Sci IV**, Maio:1-24, 1911.

HELLER, L.; PÁDUA, W. L. de. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2006.

IBGE. **Censo 2010 – Tendências Demográficas. Uma análise dos resultados da sinopse preliminar do censo demográfico de 2000**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/tendencia_demografica/analise_resultados/sinopse_censo2000.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2012.

JANG, S.; MINOCK, C.; JAEYOUNG, Y.; YONGNAM, Y.; SANGDAN, K.; KIM, G.; LEEHYUNG, K.; HAFZULLAH, A. **Using SWMM as a Tool for Hydrologic Impact Assessment**. Elsevier Science Ltd, 344-356 pp. 2007.

KIRPICH, Z. P. Time of concentration in small agricultural watersheds. **Civil Engineering**, v. 10, n.6, 1940.

KRAUSKOPF, R. N. **Atualização de Modelos chuva-vazão-propagação com estimadores de estado**. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005.

LANDSBERG, J. J.; GOWER, S. T. **Applications of physiological ecology to forest management**. New York, Academic Press, 1997.

LANNA, A. E. L. **Gestão das águas**. Porto Alegre: IPH, Porto Alegre, 1999.

LIMA, W. P; ZAKIA, M. J. B. **Hidrologia de Matas Ciliares**. In: Matas Ciliares - Conservação e Recuperação v.1, p.33-44. EDUSP, 2000.

LOURENÇO, J. M. R. M; VOLPE, L. L. **Utilização do SIG para avaliação do uso e ocupação do solo e análise multitemporal em bacias hidrográficas: O exemplo da bacia Ribeirão dos Buenos ou Moreiras – SP – Brasil**. 12 Encuentro de Geógrafos de América Latina em Montevideo, Uruguay, 2009.

MAEDA, E. E. **Influência das mudanças do uso e cobertura da terra no escoamento superficial e produção de sedimentos na Região da Bacia do Alto Xingu**. São José dos Campos: INPE, 2008.

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. **Vegetação Urbana**. 1. ed., UFRGS. Porto Alegre, 2002.

MASCARÓ, J. L. **Loteamentos Urbanos**. 2. ed., Mais Quatro Editora. Porto Alegre, 2005.

MAYS, L. W. **Water Resources Engineering**. Willey Solis, New York, 2005.

McCUEN, R. H. **Hydrologic analysis and design**. Prentice Hall PTR, 1998.

MELLER, A. **Simulação Hidrodinâmica Integrada de Sistema de Drenagem em Santa Maria – RS**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria 164 p. 2004.

MENEZES, P. H. B. J. **Avaliação do efeito das ações antrópicas no processo de escoamento superficial e assoreamento na Bacia do Lago Paranoá**. Dissertação (Mestrado) do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Brasília, 2010.

MIHELIC, J. R.; ZIMMERMAN, J. B. **Engenharia Ambiental: Fundamentos, sustentabilidade e projeto**. 1. ed. Editora LTC, 2012.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre, 2003, 628p.

PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C. de.; BOTELHO, M. R.; MENEZES, F. P. Levantamento e classificação de solos em áreas urbanas: importância, limitações e aplicações. **Revista Brasileira Agrociência**, v.13, n.2, p. 147-151. Pelotas, 2007.

PEREIRA, L. M.; **Modelagem Hidrológica dinâmica distribuída para estimativa do escoamento superficial em uma bacia urbana**. Dissertação do curso de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, INPE. São José dos Campos, 2009.

PERES, O. M. **Crescimento Urbano e Hidrografia: dinâmicas morfológicas e articulação à paisagem natural**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Pelotas, 2010.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental**. Programa de Ciência e Tecnologia para Gestão de Ecossistemas, Ação "Métodos, modelos e geoinformação para a gestão ambiental", INPE, 2000.

RENNÓ, C. D. **Construção de Um Uistema de Análise e Simulação Hidrológica: Aplicação a Bacias Hidrográficas/ C.D. Rennó**. - São José dos Campos: INPE, 2003.

RIBEIRO, M. E. J. **Goiânia: os planos, a cidade e o sistema de áreas verdes**. Goiânia: Ed. UCG, 2004.

ROCHA, N.; OLIVEIRA, V. T. de; FERREIRA, N. C. **Ocupações na bacia do Córrego Samambaia em Goiânia e suas consequências para o manancial de abastecimento público de água**. Anais VIII Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, PUCRS. Goiânia, 2012.

SCS. **Urban hydrology for small watersheds**. Washington, DC: Technical Release 55. U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service (SCS), 1986.

SILVA, J. A. da. **Direito ambiental constitucional**. 4.ed. São Paulo: Malheiros, 2000.

SILVA A, W. V.; FERREIRA, N. C.; BOGGIONE, G. de A. **Análise de vetores de crescimento para a quantificação das transformações urbanas no município de Goiânia**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia. XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – Anais, p. 681-688. 2005.

SILVA, K. A. da. **Análise da eficiência de métodos de controle de enchentes na atenuação de picos de cheias utilizando o modelo computacional SWMM - Storm Water Management Model**. Dissertação (Mestrado) do Programa de Pós-graduação *Stricto Sensu* em Engenharia do Meio Ambiente, Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2007.

SILVA, M. A.; ROCHA, J. C. S.; COSTA, H. L. A.; FILHO, R. F. **Diagnóstico Ambiental: bacia hidrográfica do Córrego Samambaia, Goiânia-GO, 2010**. X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Fortaleza-CE 2010. Goiânia, 2010.

SOUZA, R. M. de.; CRISPIM, D. Coelho.; FORMIGA, K. T. M. Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-HMS para simulação de escoamento superficial - Caso de estudo

Bacia do Córrego Samambaia. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.5, n.2, p.1-11. Goiânia, 2012.

SOUZA, R. M. de S.; FORMIGA, K. T. M.; VEIGA, A. M. **Caracterização morfolométrica e delimitação da bacia hidrográfica do Córrego Samambaia – GO a partir de dados do SRTM**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, abril de 2013, INPE. Goiânia, 2013.

TAKAOKA, M. V. *et al.* **Developing a More Sustainable Urban Residential Area - Genesis Projetc**. CIB W107 International Symposium on Construction in Developing Economies: New Issues and Challeges. 9 p. Santiago, Chile, 18 a 20 janeiro, 2006.

TUCCI, C. E. M. **Inundações urbanas**. In: Tucci, C. E. M., Porto, R. L. L. e Barros, M. T. (Org.) *Drenagem Urbana*. Editora UFRG e ABRH, Porto Alegre, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Água no meio urbano**. Livro Água Doce, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1997.

TUCCI, C. E. M. **Água no Meio Urbano. Águas Doces no Brasil: Capital Ecológico, Uso e Conservação**. São Paulo: Escrituras Editora, 1999.

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de Escoamento e Vazão Máxima de Bacias Urbanas. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, 2000.

TUCCI, C. E. M. **Drenagem urbana**. In: Tucci, C. E. M. e Bertoni, J. C. (Org.) *Inundações Urbanas na América do Sul*. ABRH, Porto Alegre, 2001.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. **Inundações Urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 156 p, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Gestão das Inundações urbanas**. Unesco. Global Water Partnership: South America. 197p, 2005.

TUNDISI, J. G. **Água no Século XXI - Enfrentando a Escassez**. São Carlos: Rima, 2003.

VALENTE, O. F.; CASTRO, P. S. Manejo de bacias hidrográficas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.7, n.80, p.40-45, mar. 1981.

VITO, M. de. **Avaliação do Risco de Contaminação de Mananciais Hídricos para o Abastecimento: O caso da Bacia da Barragem do Descoberto**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Universidade de Brasília. Brasília, 2007.

WERNER, E.; ABIKO, A. K.; COELHO, L. de O.; SIMAS, R.; KEIVANI, R.; HAMBURGER, D. S.; ALMEIDA, M. A. P. de. **Pluralismo na Habitação**. Editora: Annablume. São Paulo: 2004. Disponível em: <http://habitare.infohab.org.br/publicacao_colecao6.aspx>. Acesso em: 26 jun. 2011.

WHITEHEAD, P. G.; ROBINSON, M. Experimental basin studies: an international and historic perspective of forest impacts. **Journal de Hydrology**, 145:217-230, 1993.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Dados de entrada da chuva de 249 min (Tempo de retorno de 5 anos)

t (min)	i(mm/min)	P(mm)	delta P (mm)	Blocos alternados
1	3,36	3,36	3,36	0,04
2	3,24	6,48	3,12	0,04
3	3,12	9,37	2,90	0,04
4	3,02	12,07	2,70	0,04
5	2,92	14,60	2,52	0,04
6	2,83	16,96	2,37	0,04
7	2,74	19,18	2,22	0,04
8	2,66	21,27	2,09	0,04
9	2,58	23,24	1,97	0,04
10	2,51	25,10	1,86	0,04
11	2,44	26,86	1,76	0,04
12	2,38	28,52	1,67	0,05
13	2,32	30,10	1,58	0,05
14	2,26	31,60	1,50	0,05
15	2,20	33,03	1,43	0,05
16	2,15	34,39	1,36	0,05
17	2,10	35,69	1,30	0,05
18	2,05	36,93	1,24	0,05
19	2,01	38,11	1,18	0,05
20	1,96	39,24	1,13	0,05
21	1,92	40,33	1,09	0,05
22	1,88	41,37	1,04	0,05
23	1,84	42,37	1,00	0,05
24	1,81	43,33	0,96	0,06
25	1,77	44,25	0,92	0,06
26	1,74	45,14	0,89	0,06
27	1,70	45,99	0,85	0,06
28	1,67	46,81	0,82	0,06
29	1,64	47,61	0,79	0,06
30	1,61	48,37	0,77	0,06
31	1,58	49,11	0,74	0,06
32	1,56	49,82	0,71	0,06
33	1,53	50,51	0,69	0,07
34	1,51	51,18	0,67	0,07
35	1,48	51,83	0,65	0,07
36	1,46	52,45	0,63	0,07
37	1,43	53,06	0,61	0,07
38	1,41	53,65	0,59	0,07
39	1,39	54,22	0,57	0,07
40	1,37	54,77	0,55	0,08
41	1,35	55,31	0,54	0,08
42	1,33	55,83	0,52	0,08
43	1,31	56,34	0,51	0,08
44	1,29	56,83	0,49	0,08

45	1,27	57,31	0,48	0,09
46	1,26	57,78	0,47	0,09
47	1,24	58,23	0,45	0,09
48	1,22	58,68	0,44	0,09
49	1,21	59,11	0,43	0,09
50	1,19	59,53	0,42	0,09
51	1,18	59,94	0,41	0,10
52	1,16	60,34	0,40	0,10
53	1,15	60,73	0,39	0,10
54	1,13	61,11	0,38	0,11
55	1,12	61,48	0,37	0,11
56	1,10	61,84	0,36	0,11
57	1,09	62,20	0,35	0,12
58	1,08	62,54	0,35	0,12
59	1,07	62,88	0,34	0,12
60	1,05	63,21	0,33	0,13
61	1,04	63,53	0,32	0,13
62	1,03	63,85	0,32	0,13
63	1,02	64,16	0,31	0,14
64	1,01	64,46	0,30	0,14
65	1,00	64,76	0,30	0,14
66	0,99	65,05	0,29	0,15
67	0,98	65,33	0,28	0,15
68	0,96	65,61	0,28	0,16
69	0,95	65,89	0,27	0,17
70	0,95	66,15	0,27	0,17
71	0,94	66,42	0,26	0,18
72	0,93	66,67	0,26	0,19
73	0,92	66,92	0,25	0,19
74	0,91	67,17	0,25	0,20
75	0,90	67,41	0,24	0,21
76	0,89	67,65	0,24	0,21
77	0,88	67,89	0,23	0,22
78	0,87	68,12	0,23	0,24
79	0,87	68,34	0,23	0,25
80	0,86	68,56	0,22	0,25
81	0,85	68,78	0,22	0,27
82	0,84	68,99	0,21	0,28
83	0,83	69,20	0,21	0,28
84	0,83	69,41	0,21	0,30
85	0,82	69,61	0,20	0,32
86	0,81	69,81	0,20	0,32
87	0,80	70,01	0,20	0,36
88	0,80	70,20	0,19	0,38
89	0,79	70,39	0,19	0,39
90	0,78	70,58	0,19	0,42

91	0,78	70,76	0,18	0,44
92	0,77	70,94	0,18	0,45
93	0,76	71,12	0,18	0,49
94	0,76	71,29	0,17	0,52
95	0,75	71,47	0,17	0,54
96	0,75	71,64	0,17	0,57
97	0,74	71,80	0,17	0,63
98	0,73	71,97	0,16	0,74
99	0,73	72,13	0,16	0,69
100	0,72	72,29	0,16	0,77
101	0,72	72,45	0,16	0,82
102	0,71	72,60	0,15	0,85
103	0,71	72,75	0,15	0,96
104	0,70	72,90	0,15	1,04
105	0,70	73,05	0,15	1,09
106	0,69	73,20	0,15	1,24
107	0,69	73,34	0,14	1,36
108	0,68	73,48	0,14	1,43
109	0,68	73,62	0,14	1,67
110	0,67	73,76	0,14	1,86
111	0,67	73,90	0,14	1,97
112	0,66	74,03	0,13	2,37
113	0,66	74,16	0,13	2,70
114	0,65	74,30	0,13	2,90
115	0,65	74,42	0,13	3,36
116	0,64	74,55	0,13	3,12
117	0,64	74,68	0,13	2,52
118	0,63	74,80	0,12	2,22
119	0,63	74,92	0,12	2,09
120	0,63	75,05	0,12	1,76
121	0,62	75,17	0,12	1,58
122	0,62	75,28	0,12	1,50
123	0,61	75,40	0,12	1,30
124	0,61	75,51	0,12	1,18
125	0,61	75,63	0,11	1,13
126	0,60	75,74	0,11	1,00
127	0,60	75,85	0,11	0,92
128	0,59	75,96	0,11	0,92
129	0,59	76,07	0,11	0,89
130	0,59	76,18	0,11	0,79
131	0,58	76,28	0,11	0,74
132	0,58	76,39	0,10	0,71
133	0,58	76,49	0,10	0,65
134	0,57	76,59	0,10	0,61
135	0,57	76,69	0,10	0,59
136	0,56	76,79	0,10	0,57

137	0,56	76,89	0,10	0,55
138	0,56	76,99	0,10	0,51
139	0,55	77,08	0,10	0,48
140	0,55	77,18	0,10	0,47
141	0,55	77,27	0,09	0,43
142	0,54	77,37	0,09	0,41
143	0,54	77,46	0,09	0,40
144	0,54	77,55	0,09	0,37
145	0,54	77,64	0,09	0,35
146	0,53	77,73	0,09	0,35
147	0,53	77,82	0,09	0,34
148	0,53	77,91	0,09	0,33
149	0,52	77,99	0,09	0,31
150	0,52	78,08	0,09	0,30
151	0,52	78,16	0,08	0,29
152	0,51	78,25	0,08	0,27
153	0,51	78,33	0,08	0,26
154	0,51	78,41	0,08	0,26
155	0,51	78,49	0,08	0,24
156	0,50	78,57	0,08	0,23
157	0,50	78,65	0,08	0,23
158	0,50	78,73	0,08	0,23
159	0,50	78,81	0,08	0,22
160	0,49	78,89	0,08	0,22
161	0,49	78,96	0,08	0,21
162	0,49	79,04	0,08	0,20
163	0,49	79,12	0,08	0,20
164	0,48	79,19	0,07	0,19
165	0,48	79,26	0,07	0,18
166	0,48	79,34	0,07	0,18
167	0,48	79,41	0,07	0,17
168	0,47	79,48	0,07	0,17
169	0,47	79,55	0,07	0,17
170	0,47	79,62	0,07	0,16
171	0,47	79,69	0,07	0,16
172	0,46	79,76	0,07	0,16
173	0,46	79,83	0,07	0,15
174	0,46	79,90	0,07	0,15
175	0,46	79,96	0,07	0,15
176	0,45	80,03	0,07	0,14
177	0,45	80,10	0,07	0,14
178	0,45	80,16	0,07	0,13
179	0,45	80,23	0,06	0,13
180	0,45	80,29	0,06	0,13
181	0,44	80,35	0,06	0,12
182	0,44	80,42	0,06	0,12

183	0,44	80,48	0,06	0,12
184	0,44	80,54	0,06	0,11
185	0,44	80,60	0,06	0,11
186	0,43	80,66	0,06	0,11
187	0,43	80,72	0,06	0,11
188	0,43	80,78	0,06	0,10
189	0,43	80,84	0,06	0,10
190	0,43	80,90	0,06	0,10
191	0,42	80,96	0,06	0,10
192	0,42	81,02	0,06	0,10
193	0,42	81,08	0,06	0,10
194	0,42	81,13	0,06	0,09
195	0,42	81,19	0,06	0,09
196	0,41	81,25	0,06	0,09
197	0,41	81,30	0,06	0,09
198	0,41	81,36	0,06	0,08
199	0,41	81,41	0,05	0,08
200	0,41	81,47	0,05	0,08
201	0,41	81,52	0,05	0,08
202	0,40	81,57	0,05	0,08
203	0,40	81,63	0,05	0,08
204	0,40	81,68	0,05	0,08
205	0,40	81,73	0,05	0,08
206	0,40	81,78	0,05	0,07
207	0,40	81,83	0,05	0,07
208	0,39	81,89	0,05	0,07
209	0,39	81,94	0,05	0,07
210	0,39	81,99	0,05	0,07
211	0,39	82,04	0,05	0,07
212	0,39	82,09	0,05	0,07
213	0,39	82,14	0,05	0,07
214	0,38	82,18	0,05	0,06
215	0,38	82,23	0,05	0,06
216	0,38	82,28	0,05	0,06
217	0,38	82,33	0,05	0,06
218	0,38	82,38	0,05	0,06
219	0,38	82,42	0,05	0,06
220	0,37	82,47	0,05	0,06
221	0,37	82,52	0,05	0,06
222	0,37	82,56	0,05	0,06
223	0,37	82,61	0,05	0,06
224	0,37	82,65	0,05	0,06
225	0,37	82,70	0,05	0,05
226	0,37	82,74	0,04	0,05
227	0,36	82,79	0,04	0,05
228	0,36	82,83	0,04	0,05

229	0,36	82,87	0,04	0,05
230	0,36	82,92	0,04	0,05
231	0,36	82,96	0,04	0,05
232	0,36	83,00	0,04	0,05
233	0,36	83,05	0,04	0,05
234	0,36	83,09	0,04	0,05
235	0,35	83,13	0,04	0,05
236	0,35	83,17	0,04	0,05
237	0,35	83,21	0,04	0,05
238	0,35	83,26	0,04	0,05
239	0,35	83,30	0,04	0,05
240	0,35	83,34	0,04	0,04
241	0,35	83,38	0,04	0,04
242	0,34	83,42	0,04	0,04
243	0,34	83,46	0,04	0,04
244	0,34	83,50	0,04	0,04
245	0,34	83,54	0,04	0,04
246	0,34	83,57	0,04	0,04
247	0,34	83,61	0,04	0,04
248	0,34	83,65	0,04	0,04
249	0,34	83,69	0,04	0,04

APÊNDICE B – Resultados obtidos na simulação do modelo SWMM

• Simulação do ano de 1992:

Síntese do Escoamento Superficial por Sub-bacia

Sub-bacia	Precip Total mm	Aflu Total mm	Evap Total mm	Infil Total mm	Runoff Total mm	Runoff Total 10 ⁻⁶ L	Pico Runoff LPS	Coef Runoff
S5	1.42	0.00	0.00	1.32	0.01	0.03	5.25	0.005
S3	1.42	0.00	0.00	1.32	0.10	0.67	79.78	0.068
S4	1.42	0.00	0.00	1.32	0.03	0.26	18.48	0.020
S2	1.42	0.00	0.00	1.32	0.01	0.05	6.56	0.005
S1	1.42	0.00	0.00	1.32	0.01	0.04	6.75	0.005

Síntese da Profundidade de Água dos Nós

Nó	Tipo	Prof. Média Metros	Prof. Máxima Metros	Piez. Máxima Metros	Instante Max Ocorrência dia h:min
N1	JUNCTION	0.00	0.11	16.46	0 02:19
N2	JUNCTION	0.00	0.11	29.29	0 02:19
N3	JUNCTION	0.00	0.03	74.58	0 02:41
N4	JUNCTION	0.00	0.03	90.83	0 02:10
N5	JUNCTION	0.00	0.03	97.01	0 02:10
E1	OUTFALL	0.00	0.09	0.09	0 02:18

Síntese do Fluxo de Entrada nos Nós

Nó	Tipo	Fluxo Máximo Lateral LPS	Fluxo Máximo Total LPS	Instante da Max Ocorr. dia h:min	Volume Lateral 10 ⁻⁶ L	Volume Total 10 ⁻⁶ L
N1	JUNCTION	5.25	108.74	0 02:18	0.027	1.051
N2	JUNCTION	79.78	104.09	0 02:19	0.671	1.024
N3	JUNCTION	18.48	26.90	0 02:41	0.265	0.353
N4	JUNCTION	6.56	13.29	0 02:11	0.047	0.088
N5	JUNCTION	6.75	6.75	0 02:10	0.041	0.041
E1	OUTFALL	0.00	108.74	0 02:18	0.000	1.051

Síntese da Sobrecarga no Nó

Nenhum dos nós ocorreu sobrecargas.

Síntese da Inundação no Nó

Nenhum nó foi inundado.

Síntese da Capacidade de Efluência do Exutório

Nó exutório	Freq. %	Fluxo Med. LPS	Fluxo Max. LPS	Volume Total 10 ⁻⁶ L
E1	9.31	4.20	108.74	1.051
Sistema	9.31	4.20	108.74	1.051

Síntese do Fluxo dos Trechos

Trecho	Tipo	Fluxo Máximo LPS	Inst. da Max Ocorrência dia h:min	Veloc Máxima m/seg	Fluxo Max/ Cheio	Prof. Max/ Prof.
T1	CONDUIT	108.74	0 02:18	0.62	0.01	0.03
T2	CONDUIT	104.09	0 02:19	0.49	0.01	0.04
T3	CONDUIT	26.90	0 02:41	0.39	0.00	0.01
T4	CONDUIT	13.29	0 02:11	0.22	0.00	0.01
T5	CONDUIT	6.75	0 02:10	0.14	0.00	0.01

- Simulação do ano de 2002:

 Síntese do Escoamento Superficial por Sub-bacia

Sub-bacia	Precip Total mm	Aflu Total mm	Evap Total mm	Infil Total mm	Runoff Total mm	Runoff Total 10 ⁻⁶ L	Pico Runoff LPS	Coef Runoff
S5	1.42	0.00	0.00	1.20	0.03	0.13	15.98	0.024
S3	1.42	0.00	0.00	1.20	0.21	1.49	100.97	0.150
S4	1.42	0.00	0.00	1.20	0.08	0.72	36.27	0.055
S2	1.42	0.00	0.00	1.20	0.03	0.23	18.81	0.024
S1	1.42	0.00	0.00	1.20	0.03	0.20	19.85	0.024

 Síntese da Profundidade de Água dos Nós

Nó	Tipo	Prof. Média Metros	Prof. Máxima Metros	Piez. Máxima Metros	Instante Max Ocorrência dia h:min
N1	JUNCTION	0.00	0.15	16.50	0 02:30
N2	JUNCTION	0.00	0.15	29.33	0 02:30
N3	JUNCTION	0.00	0.06	74.61	0 02:33
N4	JUNCTION	0.00	0.06	90.86	0 02:19
N5	JUNCTION	0.00	0.06	97.04	0 02:19
E1	OUTFALL	0.00	0.12	0.12	0 02:29

 Síntese do Fluxo de Entrada nos Nós

Nó	Tipo	Fluxo Máximo Lateral LPS	Fluxo Máximo Total LPS	Instante da Max Ocorr. dia h:min	Volume Lateral 10 ⁻⁶ L	Volume Total 10 ⁻⁶ L
N1	JUNCTION	15.98	187.17	0 02:29	0.130	2.772
N2	JUNCTION	100.97	172.40	0 02:30	1.490	2.642
N3	JUNCTION	36.27	71.65	0 02:33	0.719	1.152
N4	JUNCTION	18.81	38.62	0 02:21	0.231	0.433
N5	JUNCTION	19.85	19.85	0 02:19	0.202	0.202
E1	OUTFALL	0.00	187.17	0 02:29	0.000	2.772

 Síntese da Sobre carga no Nó

Nenhum dos nós ocorreu sobrecargas.

 Síntese da Inundação no Nó

Nenhum nó foi inundado.

 Síntese da Capacidade de Efluência do Exutório

Nó exutório	Freq. %	Fluxo Med. LPS	Fluxo Max. LPS	Volume Total 10 ⁻⁶ L
E1	20.74	4.98	187.17	2.772
Sistema	20.74	4.98	187.17	2.772

 Síntese do Fluxo dos Trechos

Trecho	Tipo	Fluxo Maximo LPS	Inst. da Max Ocorrência dia h:min	Veloc Máxima m/seg	Fluxo Max/ Cheio	Prof. Max/ Prof.
T1	CONDUIT	187.17	0 02:29	0.76	0.01	0.05
T2	CONDUIT	172.40	0 02:30	0.59	0.02	0.06
T3	CONDUIT	71.65	0 02:33	0.58	0.00	0.02
T4	CONDUIT	38.62	0 02:21	0.33	0.00	0.02
T5	CONDUIT	19.85	0 02:19	0.21	0.01	0.02

- Simulação do ano de 2012:

 Síntese do Escoamento Superficial por Sub-bacia

Sub-bacia	Precip Total mm	Aflu Total mm	Evap Total mm	Infil Total mm	Runoff Total mm	Runoff Total 10 ⁶ L	Pico Runoff LPS	Coef Runoff
S5	1.42	0.00	0.00	1.07	0.09	0.33	29.28	0.060
S3	1.42	0.00	0.00	1.07	0.34	2.36	112.80	0.238
S4	1.42	0.00	0.00	1.07	0.15	1.36	58.17	0.103
S2	1.42	0.00	0.00	1.07	0.09	0.58	33.42	0.060
S1	1.42	0.00	0.00	1.07	0.09	0.51	35.71	0.060

 Síntese da Profundidade de Água dos Nós

Nó	Tipo	Prof. Média Metros	Prof. Máxima Metros	Piez. Máxima Metros	Instante Max Ocorrência dia h:min
N1	JUNCTION	0.00	0.18	16.53	0 02:36
N2	JUNCTION	0.00	0.18	29.36	0 02:36
N3	JUNCTION	0.00	0.09	74.64	0 02:36
N4	JUNCTION	0.00	0.09	90.89	0 02:25
N5	JUNCTION	0.00	0.09	97.07	0 02:25
E1	OUTFALL	0.00	0.15	0.15	0 02:35

 Síntese do Fluxo de Entrada nos Nós

Nó	Tipo	Fluxo Máximo Lateral LPS	Fluxo Máximo Total LPS	Instante da Max Ocorr. dia h:min	Volume Lateral 10 ⁶ L	Volume Total 10 ⁶ L
N1	JUNCTION	29.28	265.91	0 02:35	0.325	5.126
N2	JUNCTION	112.80	238.02	0 02:36	2.361	4.801
N3	JUNCTION	58.17	125.22	0 02:36	1.358	2.440
N4	JUNCTION	33.42	69.05	0 02:28	0.577	1.082
N5	JUNCTION	35.71	35.71	0 02:25	0.505	0.505
E1	OUTFALL	0.00	265.91	0 02:35	0.000	5.126

 Síntese da Sobrecarga no Nó

Nenhum dos nós ocorreu sobrecargas.

 Síntese da Inundação no Nó

Nenhum nó foi inundado.

 Síntese da Capacidade de Efluência do Exutório

Nó exutório	Freq. %	Fluxo Med. LPS	Fluxo Max. LPS	Volume Total 10 ⁶ L
E1	33.38	5.73	265.91	5.126
Sistema	33.38	5.73	265.91	5.126

 Síntese do Fluxo dos Trechos

Trecho	Tipo	Fluxo Maximo LPS	Inst. da Max Ocorrência dia h:min	Veloc Máxima m/seg	Fluxo Max/ Cheio	Prof. Max/ Prof.
T1	CONDUIT	265.91	0 02:35	0.87	0.02	0.06
T2	CONDUIT	238.02	0 02:36	0.67	0.03	0.07
T3	CONDUIT	125.22	0 02:36	0.71	0.01	0.04
T4	CONDUIT	69.05	0 02:28	0.41	0.01	0.03
T5	CONDUIT	35.71	0 02:25	0.27	0.01	0.04

• Simulação do Cenário 1:

Síntese do Escoamento Superficial por Sub-bacia

Sub-bacia	Precip Total mm	Aflu Total mm	Evap Total mm	Infil Total mm	Runoff Total mm	Runoff Total 10 ⁶ L	Pico Runoff LPS	Coef Runoff
S5	1.42	0.00	0.00	0.99	0.13	0.49	37.97	0.090
S3	1.42	0.00	0.00	0.99	0.42	2.90	117.99	0.292
S4	1.42	0.00	0.00	0.99	0.20	1.83	72.25	0.139
S2	1.42	0.00	0.00	0.99	0.13	0.86	42.84	0.090
S1	1.42	0.00	0.00	0.99	0.13	0.76	46.00	0.090

Síntese da Profundidade de Água dos Nós

Nó	Tipo	Prof. Média Metros	Prof. Máxima Metros	Piez. Máxima Metros	Instante Max Ocorrência dia h:min
N1	JUNCTION	0.00	0.20	16.55	0 02:41
N2	JUNCTION	0.00	0.20	29.38	0 02:41
N3	JUNCTION	0.00	0.10	74.65	0 02:41
N4	JUNCTION	0.00	0.11	90.91	0 02:29
N5	JUNCTION	0.00	0.11	97.09	0 02:29
E1	OUTFALL	0.00	0.17	0.17	0 02:36

Síntese do Fluxo de Entrada nos Nós

Nó	Tipo	Fluxo Máximo Lateral LPS	Fluxo Máximo Total LPS	Instante da Max Ocorr. dia h:min	Volume Lateral 10 ⁶ L	Volume Total 10 ⁶ L
N1	JUNCTION	37.97	313.72	0 02:36	0.487	6.834
N2	JUNCTION	117.99	277.41	0 02:41	2.896	6.347
N3	JUNCTION	72.25	159.44	0 02:41	1.828	3.451
N4	JUNCTION	42.84	88.77	0 02:32	0.865	1.622
N5	JUNCTION	46.00	46.00	0 02:29	0.758	0.758
E1	OUTFALL	0.00	313.72	0 02:36	0.000	6.834

Síntese da Sobrecarga no Nó

Nenhum dos nós ocorreu sobrecargas.

Síntese da Inundação no Nó

Nenhum nó foi inundado.

Síntese da Capacidade de Efluência do Exutório

Nó exutório	Freq. %	Fluxo Med. LPS	Fluxo Max. LPS	Volume Total 10 ⁶ L
E1	41.38	6.16	313.72	6.834
Sistema	41.38	6.16	313.72	6.834

Síntese do Fluxo dos Trechos

Trecho	Tipo	Fluxo Maximo LPS	Inst. da Max Ocorrência dia h:min	Veloc Máxima m/seg	Fluxo Max/ Cheio	Prof. Max/ Prof.
T1	CONDUIT	313.72	0 02:36	0.92	0.02	0.07
T2	CONDUIT	277.41	0 02:41	0.70	0.03	0.08
T3	CONDUIT	159.44	0 02:41	0.78	0.01	0.04
T4	CONDUIT	88.77	0 02:32	0.45	0.01	0.04
T5	CONDUIT	46.00	0 02:29	0.29	0.01	0.04

- Simulação do Cenário 2:

 Síntese do Escoamento Superficial por Sub-bacia

Sub-bacia	Precip Total mm	Aflu Total mm	Evap Total mm	Infil Total mm	Runoff Total mm	Runoff Total 10 ⁶ L	Pico Runoff LPS	Coef Runoff
S5	1.42	0.00	0.00	0.70	0.36	1.35	71.82	0.250
S3	1.42	0.00	0.00	0.71	0.70	4.86	131.09	0.490
S4	1.42	0.00	0.00	0.70	0.44	4.05	125.50	0.308
S2	1.42	0.00	0.00	0.70	0.36	2.40	79.06	0.250
S1	1.42	0.00	0.00	0.70	0.36	2.10	85.73	0.250

 Síntese da Profundidade de Água dos Nós

Nó	Tipo	Prof. Média Metros	Prof. Máxima Metros	Piez. Máxima Metros	Instante Max Ocorrência dia h:min
N1	JUNCTION	0.01	0.26	16.61	0 02:53
N2	JUNCTION	0.01	0.26	29.44	0 02:53
N3	JUNCTION	0.00	0.15	74.70	0 02:50
N4	JUNCTION	0.00	0.16	90.96	0 02:42
N5	JUNCTION	0.00	0.16	97.14	0 02:42
E1	OUTFALL	0.01	0.23	0.23	0 02:47

 Síntese do Fluxo de Entrada nos Nós

Nó	Tipo	Fluxo Máximo Lateral LPS	Fluxo Máximo Total LPS	Instante da Max Ocorr. dia h:min	Volume Lateral 10 ⁶ L	Volume Total 10 ⁶ L
N1	JUNCTION	71.82	490.25	0 02:47	1.353	14.764
N2	JUNCTION	131.09	420.30	0 02:53	4.857	13.411
N3	JUNCTION	125.50	289.49	0 02:50	4.050	8.554
N4	JUNCTION	79.06	164.66	0 02:45	2.400	4.504
N5	JUNCTION	85.73	85.73	0 02:42	2.104	2.104
E1	OUTFALL	0.00	490.25	0 02:47	0.000	14.764

 Síntese da Sobrecarga no Nó

Nenhum dos nós ocorreu sobrecargas.

 Síntese da Inundação no Nó

Nenhum nó foi inundado.

 Síntese da Capacidade de Efluência do Exutório

Nó exutório	Freq. %	Fluxo Med. LPS	Fluxo Max. LPS	Volume Total 10 ⁶ L
E1	72.07	7.65	490.25	14.764
Sistema	72.07	7.65	490.25	14.764

 Síntese do Fluxo dos Trechos

Trecho	Tipo	Fluxo Maximo LPS	Inst. da Max Ocorrência dia h:min	Veloc Máxima m/seg	Fluxo Max/ Cheio	Prof. Max/ Prof.
T1	CONDUIT	490.25	0 02:47	1.08	0.04	0.09
T2	CONDUIT	420.30	0 02:53	0.81	0.04	0.10
T3	CONDUIT	289.49	0 02:50	0.98	0.02	0.06
T4	CONDUIT	164.66	0 02:45	0.57	0.02	0.06
T5	CONDUIT	85.73	0 02:42	0.37	0.02	0.06

- Simulação do Cenário 3:

 Síntese do Escoamento Superficial por Sub-bacia

Sub-bacia	Precip Total mm	Aflu Total mm	Evap Total mm	Infil Total mm	Runoff Total mm	Runoff Total 10 ⁻⁶ L	Pico Runoff LPS	Coef Runoff
S5	1.42	0.00	0.00	0.42	0.70	2.65	107.95	0.490
S3	1.42	0.00	0.00	0.42	0.98	6.84	139.71	0.690
S4	1.42	0.00	0.00	0.42	0.77	7.07	180.39	0.538
S2	1.42	0.00	0.00	0.42	0.70	4.70	117.35	0.489
S1	1.42	0.00	0.00	0.42	0.70	4.12	127.90	0.489

 Síntese da Profundidade de Água dos Nós

Nó	Tipo	Prof. Média Metros	Prof. Máxima Metros	Piez. Máxima Metros	Instante Max Ocorrência dia h:min
N1	JUNCTION	0.01	0.31	16.66	0 03:01
N2	JUNCTION	0.01	0.31	29.49	0 03:01
N3	JUNCTION	0.01	0.19	74.74	0 02:58
N4	JUNCTION	0.01	0.20	91.00	0 02:53
N5	JUNCTION	0.01	0.20	97.18	0 02:53
E1	OUTFALL	0.01	0.28	0.28	0 02:58

 Síntese do Fluxo de Entrada nos Nós

Nó	Tipo	Fluxo Máximo Lateral LPS	Fluxo Máximo Total LPS	Instante da Max Ocorr. dia h:min	Volume Lateral 10 ⁻⁶ L	Volume Total 10 ⁻⁶ L
N1	JUNCTION	107.95	670.79	0 02:58	2.652	25.385
N2	JUNCTION	139.71	564.65	0 03:01	6.840	22.733
N3	JUNCTION	180.39	425.32	0 02:58	7.073	15.893
N4	JUNCTION	117.35	245.09	0 02:56	4.700	8.821
N5	JUNCTION	127.90	127.90	0 02:53	4.121	4.121
E1	OUTFALL	0.00	670.79	0 02:58	0.000	25.385

 Síntese da Sobrecarga no Nó

Nenhum dos nós ocorreu sobrecargas.

 Síntese da Inundação no Nó

Nenhum nó foi inundado.

 Síntese da Capacidade de Efluência do Exutório

Nó exutório	Freq. %	Fluxo Med. LPS	Fluxo Max. LPS	Volume Total 10 ⁻⁶ L
E1	99.99	9.49	670.79	25.385
Sistema	99.99	9.49	670.79	25.385

 Síntese do Fluxo dos Trechos

Trecho	Tipo	Fluxo Maximo LPS	Inst. da Max Ocorrência dia h:min	Veloc Máxima m/seg	Fluxo Max/ Cheio	Prof. Max/ Prof.
T1	CONDUIT	670.79	0 02:58	1.21	0.05	0.11
T2	CONDUIT	564.65	0 03:01	0.90	0.06	0.13
T3	CONDUIT	425.32	0 02:58	1.12	0.03	0.08
T4	CONDUIT	245.09	0 02:56	0.66	0.03	0.07
T5	CONDUIT	127.90	0 02:53	0.42	0.03	0.08