

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DO SOLO EM
PARÂMETROS QUANTITATIVOS E DE QUALIDADE DA ÁGUA NA SUB-
BACIA TAMANDUÁ (DF).**

ÉSIO WILSON LEVINO DE ARAÚJO JÚNIOR
ORIENTADOR: WAGNER SANTOS DE ALMEIDA, DSc

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 EM ENGENHARIA
AMBIENTAL**

BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO DE 2016

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**AVALIAÇÃO DA INFLUÊNCIA DO USO E COBERTURA DO SOLO EM
PARÂMETROS QUANTITATIVOS E DE QUALIDADE DA ÁGUA NA SUB-
BACIA TAMANDUÁ (DF).**

ÉSIO WILSON LEVINO DE ARAÚJO JÚNIOR

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL 2 SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA AMBIENTAL.**

APROVADA POR:

**WAGNER SANTOS DE ALMEIDA, DSc.
(ORIENTADOR)**

**NEWTON MOREIRA DE SOUZA, DSc.
(EXAMINADOR EXTERNO)**

**CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES, DSc.
(EXAMINADOR INTERNO)**

BRASÍLIA/DF, 01 de Dezembro de 2016.

“A persistência é o menor caminho do êxito”.

Charles Chaplin

RESUMO

A impermeabilização do solo, em consequência da urbanização, é um dos fatores mais influentes na mudança do ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica. Esse impacto é decorrente das alterações de uso e cobertura do solo, a partir da implantação de pavimentos, edificações e demais construções em locais predominantes de vegetação, impedindo a infiltração da água no solo. Esse processo acarreta um aumento de velocidade e volume de água que escoam pela superfície do terreno intensificando as inundações, perdas materiais e humanas, além de aumentar o carreamento de poluentes para a jusante impactando negativamente os corpos hídricos receptores dessas águas pluviais. Diante desse contexto, o presente trabalho visa comparar os cenários pré e pós a instalação do empreendimento Paranoá Parque situado na bacia do Córrego Tamanduá, unidade hidrográfica pertencente a bacia hidrográfica do Lago Paranoá. A avaliação do escoamento superficial do córrego Tamanduá foi realizada por meio do hidrograma dos dois cenários citados utilizando o modelo hidrológico SWMM, que considera as características específicas de uso e cobertura do solo de cada situação. Foi realizada uma pequena avaliação de carreamento de sólidos dissolvidos totais na bacia do Tamanduá, a partir de dados de qualidade da água obtidos da estação sedimentológica da Caesb. Tais resultados evidenciaram o impacto da alteração das condições de permeabilidade de um terreno, devido à análise do hidrograma resultante após a modelagem no SWMM, que apresentou o pico de vazão mais elevado para a condição da bacia pós-urbanizada do que a condição natural do terreno no cenário pré-urbanização.

Palavras-chave: Urbanização. Uso e ocupação do solo. PCSWMM. Modelagem Hidrológica.

Sumário

1.INTRODUÇÃO.....	1
2.OBJETIVO.....	3
2.1.Objetivo Geral.....	3
2.2.Objetivos Específicos.....	3
3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	4
3.1.Ciclo Hidrológico e Escoamento Superficial.....	4
3.2.Qualidade da água.....	5
3.2.1.Uso e cobertura do solo.....	7
3.2.2.SIG – Sistemas de Informações Geográficas.....	12
3.2.3.Tipos de solos.....	13
3.2.4.Transporte de sedimentos.....	14
3.3.Drenagem Urbana.....	15
3.4.Histórico da Urbanização.....	16
3.4.1.Histórico da urbanização do Distrito Federal.....	16
3.4.2.Política Habitacional do Distrito Federal.....	17
3.5.Características Climáticas.....	18
3.6.Modelagem Hidrológica SWMM – Storm Water Management Model.....	19
4.METODOLOGIA.....	26
4.1.Definição dos cenários.....	27
4.2.Tratamento dos dados.....	28
4.2.1.Caracterização da área de estudo.....	28
4.2.1.1.Construção do mapa de Uso e Cobertura do Solo.....	31
4.2.1.2.Determinação do CN.....	34
4.2.2.Precipitação de projeto.....	34
4.2.3.Aquisição dos dados hidrológicos e de qualidade da água.....	35
4.3.Modelagem Hidrológica.....	36
4.3.1.Modelo de Infiltração e Propagação de Fluxo.....	36
4.3.2.Caracterização da Rede de Drenagem.....	37
4.3.3.Qualidade da água.....	39
5.RESULTADOS.....	41
5.1.Análise do Uso do Solo.....	41
5.1.1.Análise do Uso do Solo (Antes da urbanização).....	41
5.1.2.Análise do Uso do Solo (Depois da urbanização).....	41
5.2.Análise da Pedologia/Grupo Hidrológico dos solos.....	42
5.3.Curva-Número.....	44
5.4.Análise da Altitude.....	46
5.5.Simulação e Comparação de Cenários.....	46
6.CONCLUSÕES.....	52
Referência Bibliográficas.....	54

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
Figura 3.1. Ciclo Hidrológico.	4
Figura 3.2. Diferença entre hidrogramas de bacias naturais e bacias antropizadas	8
Figura 3.3. Diferentes usos e ocupações do solo e focos alteradores da qualidade da água.	9
Figura 3.4. Localização do Setor Paranoá Parque 11/05/2016.	18
Figura 3.5. Distribuição da precipitação no ano de 2002 e números de dias chuvosos	19
Figura 3.6. Distribuição da precipitação no ano de 2002 e números de dias chuvosos	19
Figura 3.7. Geração do escoamento no modelo SWMM.	22
Figura 4.1. Fluxograma da metodologia a ser aplicada à análise das águas de drenagem.	25
Figura 4.2. Cenário Pré-Urbanização	26
Figura 4.3. Cenário Pós-Urbanização	27
Figura 4.4. Passos para execução da delimitação e discretização da sub-bacia	30
Figura 4.5. Chuva de projeto determinada para o estudo	34
Figura 4.6. Rede de drenagem de águas pluviais do Paranoá Parque.	37
Figura 5.1. Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Sub-bacia Tamanduá	40
Figura 5.2. Mapa de Uso e Cobertura do Solo pós-urbanização	41
Figura 5.3. Tipos de Solos presentes na Sub-bacia Tamanduá	42
Figura 5.4. Mapa do Grupo Hidrológico de solos na Sub-bacia Tamanduá	43
Figura 5.5. Mapa de CN na Sub-bacia Tamanduá antes da urbanização	44
Figura 5.6. Mapa de CN na Sub-bacia Tamanduá depois da urbanização	44
Figura 5.7. Mapa Digital de Elevação	45
Figura 5.8. Chuva de Projeto PDDU	46
Figura 5.9. Hidrograma gerado na saída da bacia a partir da chuva simulada do PDDU	47
Figura 5.10. Perfil de vazão na saída para a bacia de retenção.	48
Figura 5.11. Vazão máxima no conduto da saída para a bacia de retenção.	48
Figura 5.12. Polutograma referente à análise de sólidos dissolvidos totais na sub-bacia Tamanduá no evento de 2002	49
Figura 5.13. Polutograma referente à análise de sólidos dissolvidos totais na sub-bacia Tamanduá no evento de 2015	50

LISTA DE TABELAS

TABELA	PÁGINA
Tabela 3.1. Parâmetros físico-químicos de qualidade de água indicadores da utilização de um corpo hídrico.	5
Tabela 3.2. Classificação hidrológica de solos para as condições brasileiras	10
Tabela 3.3. Valores do parâmetro CN para bacias urbanas.	11
Tabela 3.4. Cálculos do escoamento no SWMM.	22
Tabela 4.1. Caracterização das principais classes presentes na Sub-bacia Tamanduá	28

LISTA DE EQUAÇÕES

Equações	Páginas
Equação 3.1 Cálculo da vazão de infiltração.	21
Equação 3.2 Cálculo da abstração inicial.	21
Equação 3.3 Cálculo potencial máximo de retenção após começar o escoamento.	21
Equação 4.1 Cálculo do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).	32
Equação 4.2 Cálculo do CN (Curva-Número).	33
Equação 4.3 Cálculo da intensidade de precipitação do PDDU.	34
Equação 4.4 Cálculo da altura de precipitação.	34
Equação 4.5 Cálculo do coeficiente de deflúvio.	38
Equação 4.6 Cálculo da vazão acumulada.	38
Equação 4.7 Cálculo da capacidade máxima de armazenamento de água	38

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

Sigla	Descrição
ADE	Área de Desenvolvimento Econômico
ANA	Agência Nacional de Águas
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Proteção Permanentes
ARINE	Área de Relevante Interesse Ecológico
ASCE	American Society of Civil Engineers
Caesb	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CN	Curva-Número
Codeplan	Companhia de Planejamento do Distrito Federal
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DF	Distrito Federal
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EIA	Estudo de Impacto Ambiental
ELUP	Espaço Livre de Uso Público
EPA	Environmental Protection Agency
EPCT	Estrada Parque Contorno
EPPR	Estrada Parque Paranoá
EPTM	Estrada Parque Tamanduá
ESRI	Environmental Systems Research Institute
IBRAM	Instituto Brasília Ambiental
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
InSAR	Interferometric Synthetic Aperture Radar
NOVACAP	Companhia Urbanizadora da Nova Capital
MNT	Modelo Numérico de Terreno
PDDU	Plano Diretor de Drenagem Urbana
PDOT	Plano Diretor de Ordenamento Territorial
PMCMV	Projeto Minha Casa, Minha Vida
RA	Região Administrativa
RIMA	Relatório de Impacto do Meio Ambiente
SCS	Soil Conservation Service
SDUC	Sistema Distrital de Unidades de Conservação
SEDHAB	Secretaria de Habitação, Regularização e Desenvolvimento Urbano
SEGETH	Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação
SHTq	Setor de Habitação Taquari
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SWMM	Storm Water Management Model
TERRACAP	Companhia Imobiliária de Brasília
UnB	Universidade de Brasília
USGS	United States Geological Survey
WRE	Water Resources Engineers

1. INTRODUÇÃO

A considerável taxa de crescimento humano no Brasil, nas últimas décadas, proporcionou uma migração no sentido rural para meio urbano intensificando os processos de urbanização das cidades e modificando as relações com o meio ambiente. A intensidade do uso e ocupação do solo em uma região possui forte associação com a qualidade da água e o nível de impermeabilização do solo, ocasionando problemas para a gestão dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica como carreamento de poluentes, assoreamento dos mananciais e eutrofização, que dificultam a utilização dos mesmos para usos múltiplos – abastecimento de água, geração de energia elétrica, recreação, navegação, aquicultura, entre outros.

A impermeabilização do solo é diretamente afetada com o crescimento das áreas urbanas e, proporcionalmente, eleva o volume do escoamento superficial das águas da chuva em uma bacia hidrográfica. Com a retirada da vegetação nativa para as construções civis diminui-se a taxa de infiltração da água no solo, promovendo mudanças nas fases do ciclo hidrológico, o que acarreta o aumento da magnitude das vazões na superfície do terreno (escoamento superficial) e encurta os tempos de ocorrência de picos de vazão e de concentração na bacia. Esses fatores resultam em problemas sociais e ambientais que acarretam impactos na vida da população, devido ao aumento da frequência e do nível das inundações e, também, à falta de planejamento no crescimento urbano com ocupação de áreas de risco que possuem sistemas de drenagem inadequados (Concremat, 2008).

Um dos métodos que permitem caracterizar mudanças significativas ocorrentes no uso e cobertura do solo se dá por meio do monitoramento ambiental que permita avaliar aspectos relevantes dos efeitos das atividades humanas nas bacias hidrográficas sobre os ecossistemas. Um dos indicadores mais sensíveis utilizados é o conhecimento sobre a qualidade da água em uma bacia hidrográfica que fornece informações relevantes sobre o aporte de sedimentos escoados para o canal fluvial.

No Distrito Federal possui uma presença considerável de ocupações desordenadas nas margens de corpos d'água, caracterizadas principalmente por loteamentos irregulares, devido às deficiências no planejamento territorial e às ações de grilagem que, em seu conjunto, possibilitam o aumento de processos erosivos e de aporte de sedimentos e de contaminação de suas águas fluviais.

Algumas bacias hidrográficas do Distrito Federal, como as dos Córregos Taquari e Tamanduá, devido às invasões desordenadas e a construção de casas do Programa Governamental Morar Bem “Paranoá Parque” e pela expansão do Setor Habitacional Taquari II que, em seu conjunto, possuem um elevado potencial como fontes de aportes de sedimentos e de matéria orgânica que podem vir a comprometer seus regimes de vazão e causar prejuízos ao uso futuro do Lago Paranoá para abastecimento de água potável.

Para análise e compreensão dos aportes de sedimentos e de matéria orgânica presentes em uma bacia hidrográfica tem se utilizado o modelo SWMM (Storm Water Management Model), desenvolvido pela Agência Norte-americana EPA (*Environment Protect Agency*). Este modelo é utilizado para o gerenciamento em áreas urbanas do escoamento superficial de águas pluviais em sistemas de drenagem por meio de simulações de hidrologia e hidráulica, além de possibilitar simulações de carreamento de materiais particulados na bacia hidrográfica e, o uso deste modelo permite subsidiar estratégias de mitigação desses impactos.

O SWMM emprega os princípios de conservação de massa, de energia e de momento e faz a simulação dos fenômenos hidrológicos e hidráulicos com modelo chuva-vazão para eventos únicos ou contínuos.

O presente estudo trata-se de um Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental na Universidade de Brasília. Discorre em seis capítulos a avaliação do impacto do uso e cobertura do solo na sub-bacia Tamanduá, com vistas à instalação do empreendimento Paranoá Parque baseado na modelagem hidrológica SWMM.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo do estudo é avaliar as características do uso e cobertura do solo na área de estudo, com respeito à instalação do empreendimento Paranoá Parque, e verificar a sua influência nos parâmetros quantitativos e de qualidade da água associados ao carreamento de sedimentos na bacia hidrográfica do Córrego do Tamanduá (DF).

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Analisar a variação temporal da concentração dos poluentes das ondas de cheias no exutório da bacia hidrográfica do Córrego Tamanduá.
- Analisar o comportamento quantitativo das águas pluviais na área de estudo, por meio de modelagem do escoamento superficial e de qualidade das águas, em eventos de cheia utilizando o modelo SWMM.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. CICLO HIDROLÓGICO E ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O escoamento superficial pode ser compreendido como a porção de água precipitada que desloca na superfície do solo, ou seja, a parcela de água pluvial que não infiltra no terreno e nem evapora. Este deflúvio é influenciado pelas características hidrológicas: clima, topografia, solo e geologia, em conjunto com os usos e coberturas do solo.

A Figura 3.1 demonstra o ciclo hidrológico de forma simplificada apresentando os mecanismos de: precipitação, escoamento superficial, infiltração, evaporação e transpiração.

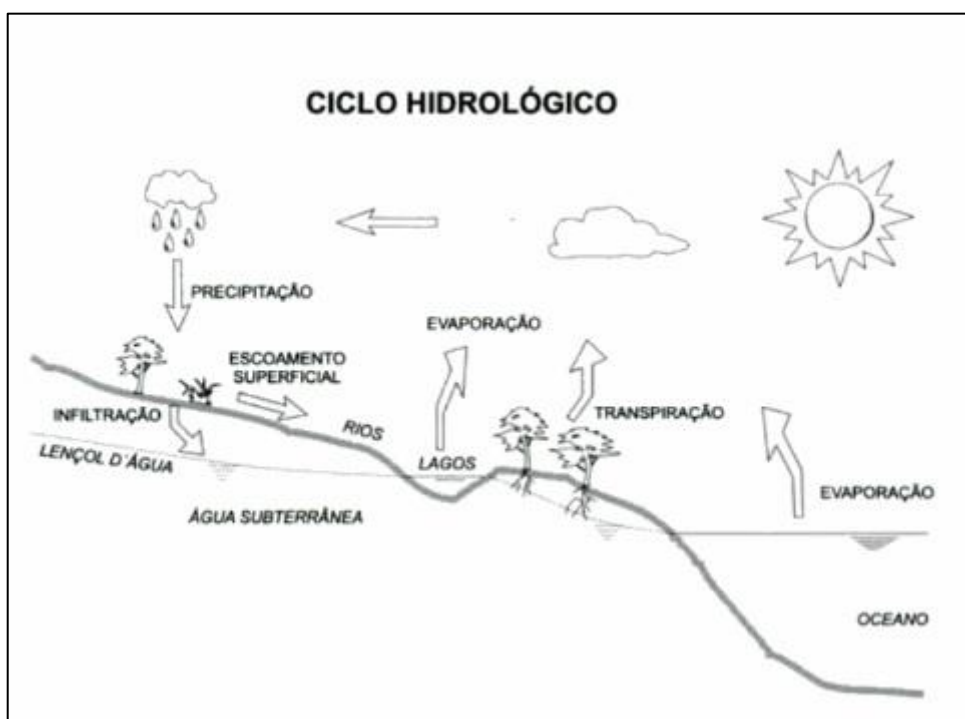


Figura 3.1 - Ciclo Hidrológico.

Fonte: Von Sperling, 2005.

Na Figura 3.1 referente ao ciclo hidrológico é observado o funcionamento do sistema, onde uma parte da precipitação (proveniente da condensação das partículas de evaporação e evapotranspiração) é interceptada pela vegetação e o restante atinge o solo. Esta água escoou quando a intensidade de precipitação supera a taxa de infiltração, ou quando a acumulação de água no solo for ultrapassada (Pruski *et al*, 2004).

Nessas condições, o volume de água flui por terra enchendo as depressões superficiais antes de se concentrar em pequenos canais, como calhas e valas de infiltração. Esse

conjunto compreende-se por galerias pluviais e fazem parte de um sistema de transporte de águas pluviais que podem chegar até um corpo hídrico (ASCE, 1992).

O volume escoado gera um transporte de partículas de solo que sofrem deposição com a diminuição da velocidade do escoamento. Além de partículas de solo suspensas, este fluxo na superfície é responsável pelo carreamento de compostos químicos, matéria orgânica, resíduos sólidos urbanos, entre outros insumos que prejudicam as funcionalidades dos cursos d'água para abastecimento público, manutenção da biodiversidade, composição paisagística, corpo receptor, produção de energia elétrica, entre outras utilizações (Pruski *et al*, 2004).

3.2. QUALIDADE DA ÁGUA

A Resolução CONAMA N^o. 357 estabelece, entre outras providências, padrões de qualidade da água com o objetivo de controlar a poluição dos corpos hídricos relacionados com a proteção da saúde em um meio ambiente ecologicamente equilibrado e com melhora da qualidade de vida, considerando os usos prioritários e classes de qualidade ambiental exigidos. Essas diretrizes estabelecidas evitam que a saúde, o bem-estar humano e o ecossistema como um todo, não sejam afetados pela deterioração da qualidade das águas nos corpos hídricos.

Os principais parâmetros descritos na Tabela 3.1 traduzem as características físicas, químicas e biológicas da água, sendo eles: coliformes, condutividade elétrica, cor, DQO, pH, temperatura, turbidez, nitrogênio, fósforo, oxigênio dissolvido, e são capazes de caracterizar qualitativamente os ecossistemas aquáticos, podendo fornecer informações sobre determinada utilização de um corpo hídrico (Von Sperling, 2005).

Tabela 3.1 – Parâmetros físico-químicos de qualidade de água indicadores da utilização de um corpo hídrico.

PARÂMETRO	INFORMAÇÕES
Cor	<ul style="list-style-type: none"> Está associada ao grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessar uma amostra de água devido à presença de sólidos dissolvidos. <hr/> <ul style="list-style-type: none"> Origem orgânica: ácidos húmicos e fúlvicos. Origem mineral: resíduos industriais, compostos de ferro e manganês.
pH	<ul style="list-style-type: none"> Representa a intensidade das condições ácidas ou alcalinas do meio líquido. <hr/> <ul style="list-style-type: none"> Origem natural: dissolução de rochas, fotossíntese; Antropogênica: despejos domésticos e industriais.
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> Transferência de calor por radiação, condução e convecção (atmosfera e solo).

Condutividade	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidade de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, que dissociam em ânions e cátions.
Turbidez	<ul style="list-style-type: none"> • Turbidez de uma amostra de água é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessá-la. • Devido à presença de sólidos em suspensão, como partículas inorgânicas (areia, silte, argila) e de detritos orgânicos, algas e bactérias, plâncton em geral, etc.
Sólidos	<ul style="list-style-type: none"> • Todos os contaminantes da água, com exceção dos gases dissolvidos. • Origem natural (processos erosivos, organismos e detritos orgânicos); Antropogênica (lançamento de lixo e esgotos).
Oxigênio Dissolvido	<ul style="list-style-type: none"> • É de essencial importância para os organismos aeróbios, que no decorrer de processos respiratórios reduzem a concentração de oxigênio no meio.
Nitrogênio	<ul style="list-style-type: none"> • É um elemento indispensável para o crescimento de algas e, quando em elevadas concentrações em ambientes lênticos, podem conduzir a eutrofização. • Origem natural: constituinte de proteínas e vários outros compostos biológicos; nitrogênio de composição celular de microrganismos. • Origem antropogênica: despejos domésticos e industriais, excrementos de animais e fertilizantes; • Na forma de nitrato está associado a doenças como a metahemoglobinemia (síndrome do bebê azul). • Pode afetar a vida aquática por meio do consumo de oxigênio dissolvido associado aos processos bioquímicos de conversão da amônia a nitrito e deste a nitrato. • Na forma de amônia livre é diretamente tóxico aos peixes.
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> • Nutriente mais importante para o crescimento de plantas aquáticas <p>Apresenta no corpo d'água como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Orgânico: solúvel (matéria orgânica dissolvida) ou particulado (biomassa de micro-organismos); • Inorgânico: solúvel (sais de fósforo) ou particulado (compostos minerais, como apatita). • Origem natural: dissolução de compostos do solo, decomposição da matéria orgânica; • Origem antropogênica: despejos domésticos, despejos industriais, detergentes, excrementos de animais, fertilizantes. • É um elemento indispensável para o crescimento de algas e microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica.
Matéria Orgânica	<ul style="list-style-type: none"> • É necessária aos seres heterotróficos, na sua nutrição, e aos autótrofos, como fonte de sais nutrientes e gás carbônico. • Com os processos metabólicos de utilização e estabilização da matéria orgânica pelos microrganismos, ocorre um consumo de oxigênio dissolvido causando o principal problema de poluição das águas, caso lançado em altas concentrações.

Fontes: Von Sperling, 2005; Funasa, 2014; Piveli, 2005.

Os diferentes tipos de uso e cobertura do solo causam emissões distintas de poluentes que contém, em proporções diferentes, os componentes citados na Tabela 3.1 com influências na qualidade da água. O processo de urbanização acarreta, por exemplo, no lançamento de

esgotos domésticos *in natura*, na produção de resíduos sólidos sem a devida destinação correta e na produção de sedimentos carregados pelas águas pluviais. Por sua vez, a agricultura provoca a produção de sedimentos e no carreamento de produtos tóxicos. O meio industrial presente em uma bacia hidrográfica é responsável pelo aporte de metais pesados, de lodo tóxico e de resíduos sólidos nas águas e, por sua vez, as atividades de mineração geram micropoluentes inorgânicos tóxicos, como metais pesados, resíduos e subprodutos dessa atividade que são carregados para as águas de uma bacia hidrográfica (Minella e Merten, 2006; ANA e PNUMA, 2011; Von Sperling, 2005).

3.2.1. Uso e cobertura do solo

A impermeabilização do solo com o uso de estruturas da construção civil, tais como: telhados, ruas, calçadas e pátios, entre outros, são decorrentes do crescimento urbano em uma determinada região, e necessita de infraestruturas básicas para o desenvolvimento da sociedade. Todavia, quando essas infraestruturas são construídas sem a devida preocupação com o sistema de drenagem pluvial, faz com que a parcela da água que infiltrava no solo passe a escoar por condutos aumentando o escoamento superficial.

O escoamento pluvial que antes era escoado lentamente pelo solo tendo uma parcela retida pelas vegetações que possibilitavam a sua maior infiltração, com a urbanização e a impermeabilização do solo dela decorrente, aumenta a intensidade do deflúvio a partir do aumento do pico de vazão, antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial, como descrito pela Figura 3.2, que mostra os hidrogramas (gráficos que descrevem o perfil de vazão ao longo do tempo, gerado por um evento de chuva) de bacias naturais e bacias antropizadas (Tucci, 2007).

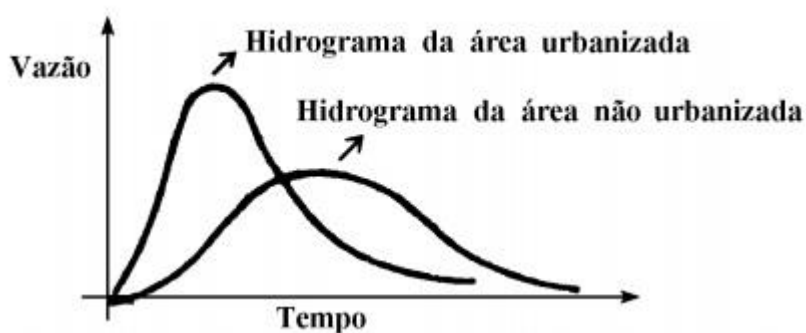


Figura 3.2 – Diferença entre hidrogramas de bacias naturais e bacias antropizadas.
Fonte: Tucci, 2007

Tais características do hidrograma de uma área urbanizada apresentadas na Figura 3.2 geram um impacto quantitativo da vazão escoada para um determinado manancial, em conjunto com a degradação da qualidade da água desses corpos hídricos provocada pela intensidade da velocidade do escoamento na superfície ao desagregar as partículas de poluentes acumuladas durante os períodos de seca.

Por sua vez, a qualidade da água é um fator resultante de ocorrências naturais e da ação do ser humano. Dessa forma, pode-se afirmar que a característica qualitativa da água de uma determinada região é função das condições naturais e do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica (Von Sperling, 2005). Desse modo, têm-se:

- **Fatores naturais:** mesmo uma bacia hidrográfica conservada nas condições naturais, acontece mudanças na qualidade de água com incorporação de sólidos em suspensão (partículas de solos) ou dissolvidos (presença de íons devido à dissolução de rochas), resultantes do impacto causado pelo contato do escoamento superficial com partículas, substâncias e impurezas no solo.
- **Fatores antrópicos:** a forma com que a população usa e altera a cobertura do solo tem uma implicação direta na qualidade da água. A própria urbanização em si causa transformação da paisagem natural com remoção da vegetação nativa o que acelera os processos erosivos laminares, que juntamente com a geração de despejos domésticos ou industriais de forma dispersa e aplicação de defensivos agrícolas no solo, contribuem, em seu conjunto, para a introdução de compostos na água.

A Figura 3.3 apresenta as relações entre o uso e cobertura do solo em uma determinada bacia hidrográfica demonstrando a geração de focos alteradores da qualidade da água dos mananciais. O controle de qualidade da água está associado à determinação da bacia como unidade de estudo, como um planejamento global, e não por agente poluidor individualmente.

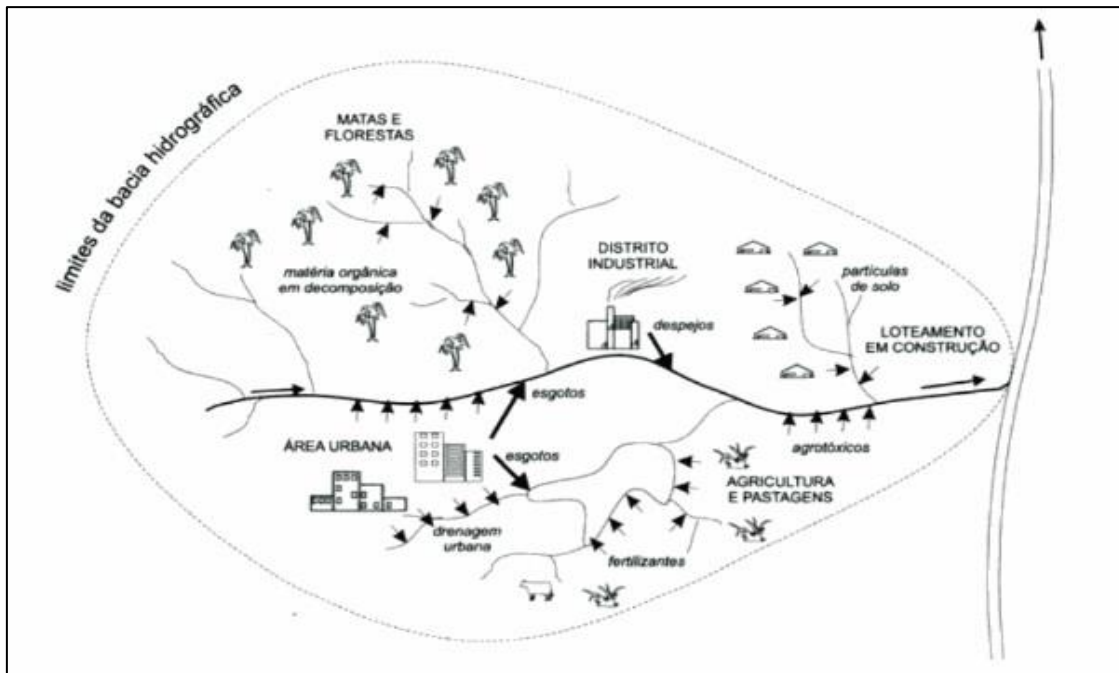


Figura 3.3 - Diferentes usos e cobertura do solo e focos alteradores da qualidade da água em uma bacia hidrográfica.

Fonte: Von Sperling, 2005.

Tucci e Porto (2000) descrevem a existência de métodos de quantificação dos impactos produzidos pela urbanização, com a finalidade de simular os fenômenos principais que ocorrem numa determinada área. Um dos métodos descritos é o SCS (*Soil Conservation Service*), desenvolvido em 1975 nos Estados Unidos, para análise das características de uso e cobertura do solo em uma determinada região. O principal parâmetro, o CN (Curva-Número), relaciona a capacidade máxima de absorção do solo considerando as condições de cobertura e o tipo de solo do local, sendo utilizado para bacias urbanas e rurais.

Segundo Porto (1995), para a aplicação do método SCS a etapa inicial é a escolha de saturação do solo de acordo com as seguintes condições de umidade antecedente do solo:

- Condição I: solos secos – as chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassaram 15 mm;
- Condição II: situação média na época das cheias – as chuvas, nos últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40 mm;
- Condição III: solo úmido (próximo a saturação) – as chuvas, nos últimos cinco dias, foram superiores a 40 mm, e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

Visando uma melhoria na aplicabilidade aos solos brasileiros, Sartori *et al.* (2005) definiram uma classificação de quatro grupos hidrológicos de solos de acordo com as características hidrológicas, expressados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Classificação hidrológica de solos para as condições brasileiras.

Grupo Hidrológico A
<p>Características: **Solos com alta taxa de infiltração e com alto grau de resistência e tolerância à erosão; **Solos de textura média; **Solos bem drenados ou excessivamente drenados; **Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo perfil; Tipos de Solos: LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO.</p>
Grupo Hidrológico B
<p>Características: **Solos com moderada taxa de infiltração, mas com moderada resistência e tolerância a erosão; **Solos porosos; **Solos de textura argilosa ou muito argilosa desde que a estrutura proporcione alta macroporosidade em todo perfil; Tipos de Solos: LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTIZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO OU VERMELHO AMARELO.</p>
Grupo Hidrológico C
<p>Características: **Solos com baixa taxa de infiltração e baixa resistência e tolerância à erosão; **Comumente apresentam mudança textural abrupta; **A textura nos horizontes superficial e subsuperficial podem ser: arenosa/média e média/argilosa apresentando mudança textural abrupta, arenosa/argilosa e arenosa/muito argilosa. Tipos de solos: ARGISSOLO pouco profundo, ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO E ARGISSOLO AMARELO; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÚMICO, ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.</p>
Grupo Hidrológico D
<p>Características: **Solos com taxa de infiltração muito baixa oferecendo pouquíssima resistência e tolerância à erosão; **Solos orgânicos **Solos rasos, associados à mudança textural abrupta ou solos profundos apresentando mudança textural abrupta aliada à argila de alta atividade; Tipos de solos: NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLITOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTO DE ROCHA; CAMBISSOLOS; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO E ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.</p>

Fonte: Adaptado de Sartori et al. (2005).

Posteriormente a classificação de cada grupo hidrológico de acordo com diferente usos e cobertura do solo, foi definido o valor de CN em função de cada uso de acordo com a Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Valores do parâmetro CN para bacias urbanas.

UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO	Solo Tipo A	Solo Tipo B	Solo Tipo C	Solo Tipo D
Zonas Cultivadas:				
Sem Conservação do Solo	72	81	88	91
Com Conservação do Solo	62	71	78	81
Pastagens e Terrenos em Más Condições	68	79	86	89
Baldios em Boas Condições	39	61	74	80
Prados em Boas Condições	30	58	71	78
Bosques ou Zonas Florestais:				
Cobertura Boa	25	55	70	77
Cobertura Ruim	45	66	77	83
Espaços Abertos, Relvados, Parques, Campos de Golf, Cemitérios, em boas condições:				
Com Relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Com Relva de 50 a 75% da área	49	69	79	84
Zonas Comerciais e de Escritórios	89	92	94	95
Zonas Industriais	81	88	91	93
Zonas Residenciais:				
lotes de (m ²):	% média impermeável			
<500	65	77	85	90
1000	38	61	75	83
1300	30	57	72	81
2000	25	54	70	80
4000	20	51	68	79
Parques de Estacionamento, Telhados, Viadutos, etc.	98	98	98	98
Arruamentos e Estradas:				
asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
paralelepípedos	76	85	89	91
terra	72	82	87	89

Fonte: Tucci, 2013.

Apesar de limitações quanto à quantificação de impactos gerados pelos deflúvios e avaliação do comportamento de poluentes difusos (quando aliado aos parâmetros físico-químicos específicos da região), a utilização do CN mostra-se importante para determinadas simulações; porém, a *American Society of Civil Engineers ASCE* (1992) não encoraja o uso do método para bacias rurais pequenas com eventos de precipitação

menores que 24 horas de duração, devido à não consideração do efeito da intensidade de chuva em volume de escoamento superficial.

A parcela de água escoada na superfície possui importância considerável, pois, determinará, entre outros objetivos, a quantidade de sedimentos que um evento de chuva pode carrear. Silva *et al.* (2005), descrevem que a cobertura de solo possui maior influência que a intensidade de precipitação nas perdas de solo, pois quanto maior a cobertura, menor será o potencial erosivo laminar das chuvas intensas.

Dessa forma, estudos que utilizam o mapeamento entre o meio urbano e rural, fornecem subsídios para o diagnóstico de possíveis impactos no uso da terra e indicam problemas gerados na expansão urbana desordenada. Em conjunto a esse mapeamento, são utilizados softwares de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que facilitam a identificação e visualização de objetos em produtos cartográficos.

3.2.2. SIG - Sistemas de Informações Geográficas

No âmbito das geotecnologias no mundo contemporâneo, os SIG, em conjunto com o sensoriamento remoto, estão em destaque nos mais diversos estudos, com a automatização de tarefas realizadas manualmente e a facilidade de realizar análises complexas por meio da integração de dados geocodificados (Felgueiras, 1987). Essas ferramentas possibilitaram realizar análise de dados espaciais como imagens fornecidas por satélites, mapas, cartas climatológicas, censos demográficos, entre outros, oferecendo alternativas para o conhecimento da ocupação e utilização do meio físico.

Tais geotecnologias são compreendidas como técnicas de aplicação de sensores remotos, a partir da utilização de softwares e hardwares com finalidade em geoprocessamento em ambientes computacionais de sistemas de informações geográficas (SIG), que permitem ao usuário a realização de operações com dados referenciados espacialmente em relação à superfície da Terra (Lisboa e Iochpe, 1996). A título de exemplo pode-se destacar a manipulação e geração de produtos cartográficos com alto nível de precisão de área e distância dos elementos e qualidade nos detalhes, fornecendo conhecimento do espaço geográfico e dos seus diferentes componentes: vegetação, solos, desmatamento, vias, loteamentos, mineração, mananciais, entre outros.

Nesse quadro, além de lidar com informações espaciais, surgem às aplicações ambientais, sociais e econômicas que agregam valor aos SIG, onde é possível combinar dados

topográficos, climáticos, de tipos e uso do solo para áreas de uma bacia hidrográfica, permitindo a visualização de cenários passados, atuais e simular cenários futuros (Grigg, 1996).

A utilização da bacia hidrográfica como unidade de estudo para os modelos hidrológicos, faz com que o uso das geotecnologias forneçam informações imprescindíveis com relação ao meio físico e a detecção de seus objetos. Dessa forma, as ferramentas computacionais em um SIG auxiliam na modelagem hidrológica, com sua capacidade de geração de bancos de dados espaciais e gerenciamento das informações, possibilitando o armazenamento, processamento e análise dos resultados da modelagem (Silva, 2015).

Destacam-se dois sistemas de informações geográficas com vasta utilização em estudos hidrológicos: SPRING e ArcGis. O SPRING desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e parceiros, é um SIG com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a banco de dados espaciais com amplas aplicações nestes cenários. O ArcGis é um conjunto de aplicativos computacionais de SIG, desenvolvido pela empresa norte-americana ESRI (*Environmental Systems Research Institute*) que fornece ferramentas avançadas para análise espacial, manipulação de dados e cartografia.

3.2.3. Tipos de solos

Segundo o trabalho realizado pela Embrapa (1978), é identificado na área de estudo três classes de solos que compõe a maior parte cerca de 85% do do território do DF, denominadas de Latossolo Vermelho (LV), Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Cambissolo (C).. A Embrapa (1978) define os LV's como muito porosos, bastante permeáveis e de acentuados a fortemente drenados. A vegetação presente é normalmente Cerrado e Cerradão, com relevo plano a suave-ondulado e de grande continuidade., e ocorre nas chapadas mais elevadas e nos divisores de drenagem mais contínuos, sobre rochas do Grupo Paranoá.

Para os LVA's, a Embrapa (1978) distingue dos LV's devido à coloração amarelada diferenciada e a maior espessura desse tipo de solo. A vegetação associada é geralmente Cerrado *stricto sensu*, Campo Limpo e Campo Sujo e está presente preferencialmente nas bordas das chapadas mais elevadas e na transição entre os divisores e drenagens nas áreas

de ocorrência do Grupo Paranoá e nas chapadas mais baixas sobre rochas do Grupo Canastra, apresentando vertentes com declividades entre 5% e 20%, retilíneas e convexas.

Os Cambissolos são caracterizados por solos pouco desenvolvidos com presença de alguns minerais primários facilmente intemperizáveis e elevados teores de silte, e apresentam em geral textura mais grosseira e a vegetação associada geralmente presente nos Campos Limpos. Ocorrem geralmente nas vertentes mais onduladas e compreende em torno de 31% da área do DF.

3.2.4. Transporte de sedimentos

O carreamento de sedimentos por escoamento superficial derivado das águas das chuvas pode ser descrito pelos processos erosivos laminares ocasionados por um evento de precipitação, gerando perdas de solo e de outras partículas presentes na superfície do solo, transportadas até um ponto a jusante na bacia (geralmente em um corpo hídrico ou sedimentada em alguma depressão). A cobertura de solo possui considerável influência no controle das perdas de solo, pois está relacionado com a estabilização das partículas em condições naturais, o que dificulta a desagregação do solo, ou em caso de uso e ocupação da bacia hidrográfica, ocorre a desestabilização das partículas aumentando, assim, a susceptibilidade ao carreamento de sedimentos pela água da chuva (Silva *et al.*, 2005).

O desenvolvimento antrópico aumenta significativamente a frequência das inundações e o volume de sedimentos na bacia hidrográfica devido às construções, ao desmatamento de terrenos para novos loteamentos, à construção de ruas, avenidas e rodovias, entre outras causas. Os principais fatores ambientais consequentes da produção de sedimentos são: a) assoreamento das seções da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbanos; e, b) transporte de poluentes agregados aos sedimentos, que contaminam as águas pluviais (Tucci e Mendes, 2006).

À medida que é consolidada a densificação urbana da bacia hidrográfica, ocorre a redução da produção de sedimentos, porém é verificada a produção de resíduos sólidos como um problema consequente. Os resíduos sólidos urbanos, com propriedades heterogêneas, obstruem ainda mais o sistema de drenagem e degradam as condições ambientais, com o carreamento dos resíduos lixiviados. O problema somente é minimizado com adequada frequência da coleta desses resíduos sólidos, com educação ambiental da população e com

penalidades para depósito e lançamentos irregulares desses resíduos (Tucci e Mendes, 2006).

3.3. DRENAGEM URBANA

O avanço e densificação da malha urbana influencia diretamente na alteração do escoamento superficial, principalmente pela remoção da vegetação nativa e na impermeabilização do solo oriunda da proliferação de loteamentos executados de forma inadequada, da ocupação antrópica de áreas impróprias (ex: várzeas de inundação e cabeceiras íngremes), da periferação das cidades em decorrência de favelas e invasões e da ocupação extensa e adensada sem obedecer a diretrizes urbanísticas constantes de planos diretores. Tais ações acarretam interferência na drenagem urbana e, como consequência, além dos impactos da ocupação do solo, dificulta a construção de canais e canalizações e, muitas vezes, impossibilita a construção de áreas de armazenamento. Tucci (2013) destaca os seguintes fatores contraproducentes com relação ao comportamento político e administrativo presente em um planejamento urbano de uma bacia hidrográfica:

- 1) O crescimento acelerado acirra a disputa por recursos entre os diversos setores da administração urbana e faz prevalecer a tendência de atuar corretivamente em pontos isolados;
- 2) As medidas para disciplinar a ocupação do solo são dificultadas por conflitos de interesses;
- 3) As políticas de médio e longo prazo são invariavelmente relegadas no planejamento urbano.

Devido às características de relevo, a ocupação de uma bacia hidrográfica tende a acontecer no sentido de jusante para montante. Quando ocorre o descontrole da urbanização que acarreta um aumento populacional na ocupação do solo nas cabeceiras da bacia, ou há falta de obras que aumente a capacidade da macrodrenagem, verifica-se um aumento significativo na frequência das enchentes, provocando a desvalorização de propriedades e prejuízos sazonais. Nesses casos, a população situada à jusante da bacia sofre as piores consequências, em decorrência da ocupação a montante. A urbanização desordenada também é responsável por causar impactos estruturais, o que acarreta a necessidade de ampliação da capacidade dos condutos das redes de drenagens urbanas com aumento de custos. Assim, a drenagem urbana secundária que possui os principais condutos que carregam as águas pluviais fica sobrecarregada pelo aumento do deflúvio em

suas redes, porém, os impactos maiores ocorrem nos sistemas de macrodrenagem da bacia (Tucci, 2013).

3.4. HISTÓRICO DA URBANIZAÇÃO

A evolução histórica do crescimento das cidades no País foi marcada pela ocupação antrópica próxima aos cursos d'água devido à necessidade do recurso hídrico e pela inexistência de infraestrutura necessária para o saneamento básico. Com a ascensão da tecnologia foi possível ampliar a ocupação do solo para áreas mais afastadas da calha principal dos rios, a partir de investimentos que ocorrem em execução de obras como malha viária, canalizações, pavimentos, pontes, dentre outras que alavancaram a expansão territorial (Riguetto, 2009).

Com a crescente urbanização que aconteceu a partir da segunda metade do século XX no Brasil, ocorreu uma concentração populacional nas cidades gerando uma grande demanda de recursos naturais e, conseqüentemente, impactos associados aos inconvenientes de insuficiência de tais recursos para suprir a subsistência das comunidades, acarretou e ainda acarreta a existência de conflitos diante aos diversos usos que são atribuídos a esses subsídios, e uma má gestão de planejamento dos órgãos competentes com as questões ambientais (Tucci, 2008).

3.4.1. Histórico de ocupação Distrito Federal

O quadrilátero definido pelo Distrito Federal (DF) pode ser compreendido por uma unidade especial da Federação Brasileira, criada em 1957. A principal cidade e Capital Brasileira, Brasília, foi construída no período do “nacional-desenvolvimentismo”, onde o País apresentou altas taxas de crescimento econômico e rápida expansão urbana. A construção deste território foi embasada num planejamento, que distinguiu as atividades humanas em espaços exclusivos para tal ação. Embora tenha acontecido o planejamento urbano na região do DF, ainda são verificadas similaridades contraproducentes comparadas com outros grandes centros urbanos brasileiros, como a setorização do território pela renda financeira da população, causando uma diferenciação do uso e ocupação do solo, o que fez o Plano Piloto de Brasília ser definido como região central marcada pela presença da parcela da população de alta renda, e o seu entorno também definido pelas cidades-satélites, predominante da população de baixa renda (SEGETH, 2009).

Diante essa problemática, o Governo Federal decidiu implantar políticas habitacionais em vários setores do Distrito Federal, com o objetivo de atender uma demanda crescente por habitações para todos os segmentos sociais e indiretamente reduzir o número de invasões e loteamentos irregulares, que pela Lei N° 3.877/2006, objetiva fornecer infraestrutura básica e qualidade de vida para a população.

3.4.2. Política Habitacional do Distrito Federal – O Empreendimento Paranoá Parque

A nova política habitacional do DF proposta pela “Secretaria de Habitação, Regularização e Desenvolvimento” - SEDHAB, consolidada pelo “Programa Morar Bem” desenvolveu um parcelamento de solo urbano denominado Paranoá Parque, em 10 de maio de 2012, localizado na Rodovia DF-015 (Fazenda Retiro ou Barra Alta). De acordo com o EIA-RIMA disponibilizado pela Topocart (2012), o programa tem como base a construção de unidades habitacionais por meio de um adensamento das áreas urbanas com a infraestrutura já implantada, por intermédio do Programa Federal “Minha Casa, Minha Vida (PMCMV)”, que, no Distrito Federal atua em parcerias com as prefeituras das cidades satélites e é conhecido como Programa Morar Bem.

Baseado nas especificações do Programa Morar Bem, a área a ser parcelada na bacia hidrográfica do Córrego Tamanduá foi elaborada em um Plano de Ocupação, em que foram criados lotes para seguintes usos: residencial (multifamiliares), comercial e coletivo, institucional, Área de Desenvolvimento Econômico – ADE e Espaço Livre de Uso Público – ELUP.

O projeto de ocupação da área para fins de usos urbanos, como previsto no EIA-RIMA, foi compatível com as disposições do PDOT/2009, aprovado por meio da Lei Complementar Distrital n° 803/2009, para a Zona Urbana de Uso Controlado I, caracterizando o empreendimento como possuindo áreas habitacionais de muito baixa densidade demográfica, com enclaves de baixa, média e alta densidade populacional.

Como apresentado na Figura 3.4, o projeto Paranoá Parque dista aproximadamente um (01) quilômetro do Lago Paranoá e está situado na região da APA – Área de Proteção Ambiental, protegida a nível distrital conforme a Lei Complementar Distrital n° 827/2010, que especifica o Sistema Distrital de Unidades de Conservação da Natureza – SDUC. Esse fator justifica a necessidade de monitoramento dessa área, com vistas a reduzir possíveis impactos que possam ocorrer nessa região.



Figura 3.4 - Localização do empreendimento habitacional Paranoá Parque 11/04/2016

A implantação deste tipo de empreendimento gera impactos no meio ambiente, como por exemplo, na sua fase de implantação, com elevados níveis de sedimentos contidos no revolvimento do solo e na má disposição dos materiais utilizados na construção e dos rejeitos das obras, e também, na fase de consolidação do projeto, onde o impacto com relação à drenagem da bacia, está associado à impermeabilização do terreno.

3.5. CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

Os gráficos das Figuras 3.5 e 3,6 expõem as informações sobre a quantidade de chuva acumulada mensal e o número de dias de precipitação em cada mês nos anos de 2002 e 2015, correlacionados aos anos antes e após a instalação do empreendimento Paranoá Parque, com os dados do pluviógrafo do Inmet – Instituto Nacional de Meteorologia, caracterizado como estação meteorológica automática localizada em altitude 1159,54m, nas coordenadas geográficas: latitude 15°47'S e longitude 47°55'W. Nota-se a distribuição do volume precipitado ao longo do ano, que de acordo com a classificação de Koppen, pode caracterizar Brasília pelo clima Tropical de Altitude, onde são verificadas duas estações distintas: quente e úmido (outubro a abril) e seco (maio a setembro).

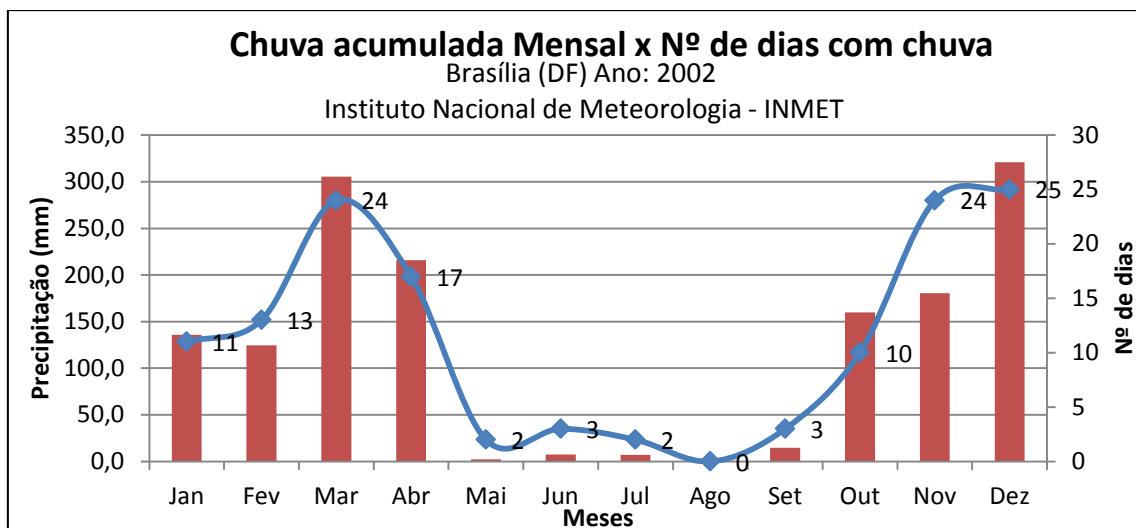


Figura 3.5. Distribuição da precipitação no ano de 2002 e número de dias chuvoso

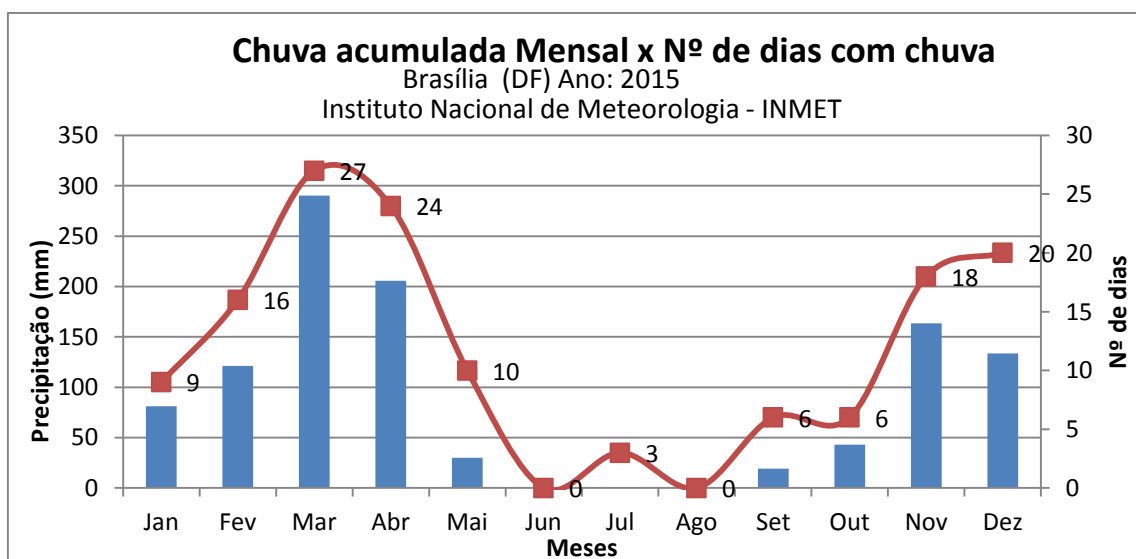


Figura 3.6. Distribuição da precipitação no ano de 2015 e número de dias chuvoso

3.6. MODELAGEM HIDROLÓGICA SWMM – STORM WATER MANAGEMENT MODEL

De acordo com Maidment (1993), um modelo hidrológico pode ser entendido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parcela da superfície e/ou abaixo do solo. A bacia hidrográfica é a unidade de estudo dos modelos hidrológicos, que recebe a água precipitada nas superfícies em um ou mais canais de escoamento desembocando em uma única saída.

Nesse contexto, o modelo hidrológico SWMM, de gerenciamento de águas pluviais, foi desenvolvido em 1971 por *Metcalf & Eddy*, pela Universidade da Flórida e pela *Water Resources Engineers (WRE)*, sob financiamento da *United States Environmental Protection Agency (US EPA)* e desde então passou por vários aperfeiçoamentos.

Atualmente, o sistema SWMM está disponibilizado livremente no *site* da agência com a última versão - SWMM 5.1.010 de 2016 (Vescovi, 2011).

O SWMM foi criado para sua aplicação em áreas urbanas, com objetivo de auxiliar no planejamento, análise e concepção de projetos de escoamentos superficiais das águas pluviais, operando com um conjunto de sub-bacias hidrográficas que recebem precipitações e geram escoamentos e cargas poluidoras. O modelo faz simulação de fenômenos hidrológicos e hidráulicos, com modelo dinâmico chuva-vazão para um único evento ou contínuo, gerado a partir do sistema de galerias para a previsão de vazões, pontos de inundação e de poluentes (Rossman, 2010).

O sistema SWMM possui algoritmos em ferramentas computacionais que permite representar os fluxos de água e matérias entre os principais módulos que definem o meio ambiente. Os módulos do SWMM procuram representar os fenômenos da natureza e o comportamento do fluxo de água no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica, compreende-se: o atmosférico (precipitação e deposição de poluentes); o de superfície do solo (escoamento e infiltração); o de águas subterrâneas (fluxo de base); e, o de transporte (canais, condutos, entre outros).

O modelo gera hidrogramas a partir dos dados de entrada do clima (precipitação) em conjunto com uma quantidade de parâmetros que geram evaporação, infiltração ou escoamento superficial como dados de saída. Estes parâmetros introduzidos no SWMM, segundo Rossman (2010), descrevem fisicamente a bacia hidrográfica (área, largura e declividade) com base em suas características hidrológicas (porcentagem de permeabilidade, capacidade de armazenamento, coeficiente de rugosidade de Manning e parâmetros de infiltração).

O método de infiltração SCS (Soil Conservation Service), dentre os propostos pelo SWMM (Equação de Horton e o método de Green-Ampt), é o que requisita quantidade menor de dados de entrada para o cálculo da vazão gerada, utilizando basicamente o uso e cobertura do solo representado pelo CN - Curva-Número, que considera que a capacidade total de infiltração do solo pode ser obtida pela tabela do CN “Tabela 3.3”, baseada nas características de permeabilidade do solo da bacia e nos dados de precipitação. A utilização de um modelo mais simplificado em áreas urbanas é mais vantajosa, visto que, os solos urbanos são mais heterogêneos e modificados dificultando a obtenção de dados. As

Equações 3.1 a 3.3 utilizadas para o cálculo do runoff (chuva excedente ou escoamento superficial) “Q” são descritas em função da precipitação e do CN.

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia) + S}$$

Equação 3.1

$$Ia = 0,2 * S$$

Equação 3.2

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Equação 3.3

Onde:

Q = runoff ou chuva excedente (mm)

P = precipitação (mm)

Ia = abstração inicial (mm) – representa todas as perdas (água retida nas depressões da superfície e interceptada pela vegetação, água evaporada e infiltrada).

S = potencial máximo de retenção após começar o escoamento (mm)

Rossman (2010) destaca os modelos de transporte incorporados e disponibilizados pelo SWMM, a saber: o regime uniforme, onda cinemática e onda dinâmica. O fluxo em regime uniforme não realiza a propagação de vazões, basicamente o hidrograma de entrada em um nó de montante é transferido para um nó de jusante do conduto na rede de drenagem, sem mudança de forma e sem atraso. O modelo de onda cinemática contém a equação da continuidade que é uma simplificação da equação da quantidade de movimento em cada um dos condutos, onde a declividade da superfície livre da água é igual a declividade do fundo do conduto. Este modelo permite que a vazão e a área variem no espaço e tempo no interior do conduto. O modelo de onda dinâmica representa o fluxo pressurizado quando um conduto fechado encontra-se completamente cheio, de forma que a vazão circulada pode ultrapassar o valor do tubo completamente cheio, obtido pela equação hidráulica de Manning.

A Tabela 3.4 descreve os três modelos de transporte no sistema hidráulico e as equações que governam os modelos para cálculos do escoamento no SWMM.

Tabela 3.4 – Cálculos do escoamento no SWMM.

TIPO DE ESCOAMENTO	EQUAÇÕES
Regime Permanente	$\frac{\partial Q}{\partial t} = 0$
Onda Cinemática	$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$ $g \cdot A \cdot S_f - g \cdot A \cdot S_o = 0$
Onda Dinâmica	$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$ $\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + g \cdot A \cdot \frac{\partial y}{\partial x} + g \cdot A \cdot S_f - g \cdot A \cdot S_o = q$

Fonte: Rossman (2010)

Segundo Rossman (2010), no ambiente do modelo SWMM, o terreno pode ser representado como um reservatório não linear associada a um pluviógrafo. O escoamento superficial acontece quando o valor máximo de armazenamento é menor do que a profundidade da água no reservatório, como descrito pela Figura 3.7, sendo “d” igual a lâmina de água no reservatório; d_p : o valor máximo de depressão; Q: vazão gerada em cada micro-bacia.

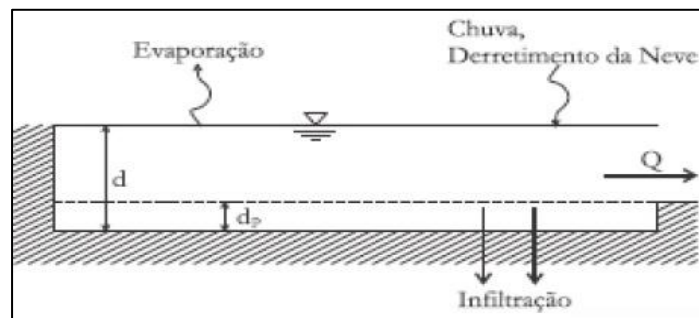


Figura 3.7 – Geração do escoamento no modelo SWMM (Fonte: Rossman, 2010)

De acordo com Rossman (2010), o SWMM como sistema de ferramenta de modelagem matemática também é utilizado para compreender a dinâmica do sistema de vazões e de escoamento superficial em uma bacia hidrográfica. O sistema utiliza as características físicas (declividade, delimitação de bacias, tipo e uso do solo, entre outras) e hidrológicas da região urbana para a produção de resultados como:

- a) Modelamento de elementos especiais para rede de drenagem como unidades de armazenamento e tratamento, divisores de fluxo, bombas, vertedores e orifícios;
- b) Modelamento distintos regimes de fluxo, tais como remanso, entrada em carga, fluxo reverso e alagamentos;

Além da possibilidade de modelar a geração e o transporte do escoamento superficial, o SWMM pode estimar a produção e a evolução de cargas de agente poluentes carregadas por esse tipo de escoamento, tais como (EPA, 2010):

- 1) Acumulação do poluente durante o tempo seco, para diferentes usos do solo;
- 2) Lixiviação do agente poluente como função do tipo de uso do solo;
- 3) Contribuição direta decorrente da própria chuva;
- 4) Redução da poluição acumulada devido à limpeza da rua;
- 5) Redução da carga de poluentes arrastados pela enxurrada devido às boas práticas de manejo;
- 6) Entrada de águas residuárias em tempo seco e outras contribuições externas especificadas pelo usuário em qualquer ponto do sistema de drenagem;
- 7) Propagação de substâncias associadas à qualidade da água ao longo do sistema de drenagem;
- 8) Redução na concentração do poluente por meio de tratamentos em reservatórios ou devido a processos naturais em tubulações em canais.

O programa SWMM é também uma ferramenta de análise de qualidade da água. Nas rotinas computacionais que calculam o transporte de fluxo, em que é fornecido o hidrograma como dado de entrada, é possível a construção dos polutogramas (concentração x tempo) para cada poluente.

A partir da análise dos poluentes presentes em uma bacia hidrográfica, o modelo proporciona ao usuário funções predefinidas do comportamento da concentração de poluentes em função do escoamento superficial.

O processo acumulativo de poluentes é definido como a massa por unidade de área das micro-bacias que se agrega em determinada categoria de uso do solo. A quantidade de poluente armazenada depende do número de dias sem precipitação antecedente à chuva e pode ser calculada pelas Equações 3.4 a 3.6, predefinidos pelo SWMM de três maneiras segundo Rossman (2010):

- Função potência: A acumulação do poluente “B” é proporcional ao tempo elevado a uma potência até atingir um valor máximo.

$$B = \text{Min}(C_1, C_2 t^{C_3})$$

Equação 3.4

Onde C1 é a acumulação máxima possível (massa por unidade de área), C2 é a constante de crescimento do poluente acumulado e C3 é o expoente do tempo.

- Função exponencial: Possui um comportamento semelhante uma acumulação exponencial que se aproxima assintoticamente a um determinado valor máximo.

$$B = C_1(1 - e^{C_2t})$$

Equação 3.5

Onde C1 é a acumulação máxima possível (massa por unidade de área) e C2 é a constante de crescimento do poluente acumulado (l/dia).

- Função saturação: começa de forma linear e progressivamente diminui ao longo do tempo até alcançar um determinado valor de saturação.

$$B = \frac{C_1 \cdot t}{C'_2 + t}$$

Equação 3.6

Onde C1 é a acumulação máxima possível (massa por unidade de área) e C2 é a constante de semi-saturação (número de dias necessários para alcançar a metade da máxima acumulação possível).

No processo de lixiviação “*washoff*”, existem mais três opções diferentes (Equações 3.7 a 3.9) na consideração do carreamento de poluentes. Em decorrência de um evento de chuva, o fluxo vertical resulta na dissolução dos compostos solúveis, quando as queda das gotas atingem a superfície e o fluxo horizontal promove a turbulência necessária para que ocorra a dissolução. Com a continuidade da precipitação, ocorre escoamento e o aumento da taxa do fluxo e da velocidade, com o material particulado sendo carreado para a jusante da bacia.

- Função exponencial: A carga lixiviada W (MT⁻¹) é proporcional ao produto do escoamento elevado a uma potência, pela quantidade agente poluente acumulado;

$$W = C_1 \cdot q^{C_2} \cdot B$$

Equação 3.7

Onde C1 é o coeficiente de lixiviação, C2 o expoente de lixiviação, q o escoamento por unidade de área (polegadas/hora ou mm/hora) e B é a acumulação do agente poluente. A unidade de B é a unidade de massa sem ser dividida pela área da sub-

bacia ou pelo comprimento do meio fio. As unidades de massa da lixiviação são as mesmas que as utilizadas para expressar as concentrações de poluentes (miligramas, microgramas ou unidades).

- Curva de taxa de lixiviação: A carga lixiviada W (MT^{-1}) é proporcional à vazão de escoamento, elevado a uma potência;

$$W = C_1 \cdot Q^{C_2}$$

Equação 3.8

Onde C_1 é o coeficiente de lixiviação, C_2 o expoente de lixiviação, e Q o escoamento nas unidades definidas pelo usuário.

- Concentração média do evento: Caso especial da curva da taxa de lixiviação;

$$W = C_1 \cdot Q$$

Equação 3.9

Trata-se de um caso especial da curva de taxa de lixiviação onde o expoente é 1.0 e o coeficiente C_1 representa a concentração de poluente lixiviado em unidades de massa por litro. Note que a conversão entre as unidades de vazão definidas pelo usuário para o escoamento e os litros se realiza internamente no SWMM.

4. METODOLOGIA

A Figura 4.1 contempla as principais etapas metodológicas – revisão teórica, obtenção e tratamento dos dados e aplicação da modelagem - e as atividades sequenciais a serem efetuadas durante o projeto para obtenção dos resultados, desde a obtenção dos parâmetros de análise (precipitação e sedimento) da bacia de estudo, até a validação do modelo.

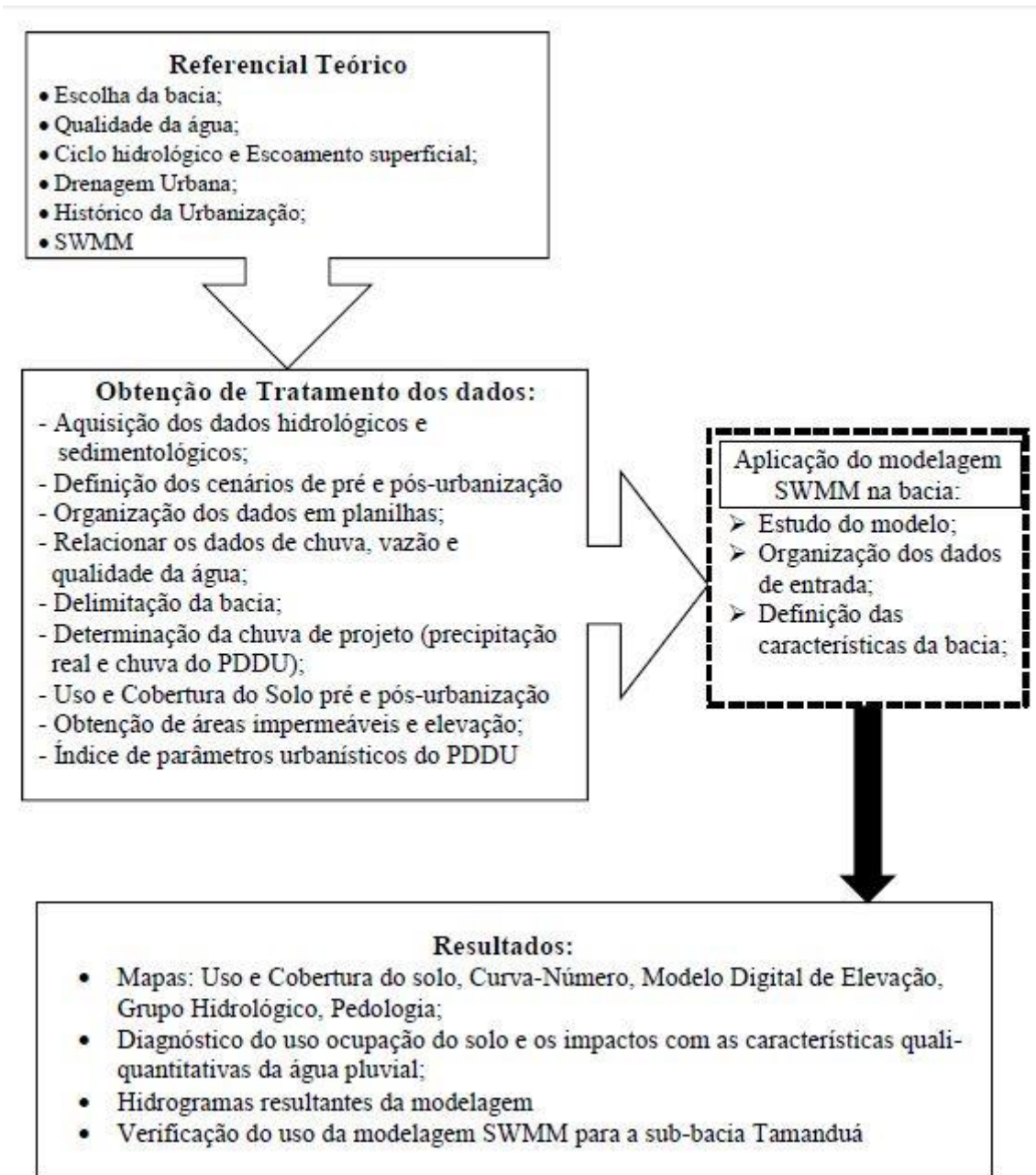


Figura 4.1 – Fluxograma da metodologia a ser aplicada à análise das águas de drenagem.

Os passos metodológicos da Figura 4.1 são descritos nos itens a seguir, descrevendo a influência de cada parâmetro e os meios utilizados para a execução da modelagem.

4.1. DEFINIÇÃO DOS CENÁRIOS

Foram realizadas simulações com a aplicação do modelo SWMM quantificando o escoamento superficial de dois cenários diferentes. Estes cenários foram comparados para uma avaliação da influência das mudanças do uso e cobertura do solo no escoamento superficial. Devido à ausência de dados para a região não foi possível realizar a calibração do modelo, porém não influenciou na obtenção de resultantes relevantes para os objetivos do estudo. A rede de drenagem utilizada nas duas simulações foi obtida juntamente com a empresa Topocart (2012), responsável pelo projeto de drenagem urbana do local. No arquivo são especificados: diâmetro e extensão dos condutos, localização dos poços de visita, áreas de contribuição, coeficiente de rugosidade; todos utilizados na modelagem.

Os cenários propostos para a avaliação foram:

- a) Cenário Pré-Urbanização: com relação ao uso e cobertura do solo no ano 2002, antecedente à instalação do empreendimento Paranoá Parque, expresso na Figura 4.2.
- b) Cenário Pós-Urbanização: com relação ao uso e cobertura do solo no ano 2015, que foi o ano das obras realizadas para a implantação do empreendimento Paranoá Parque, expresso na Figura 4.3.

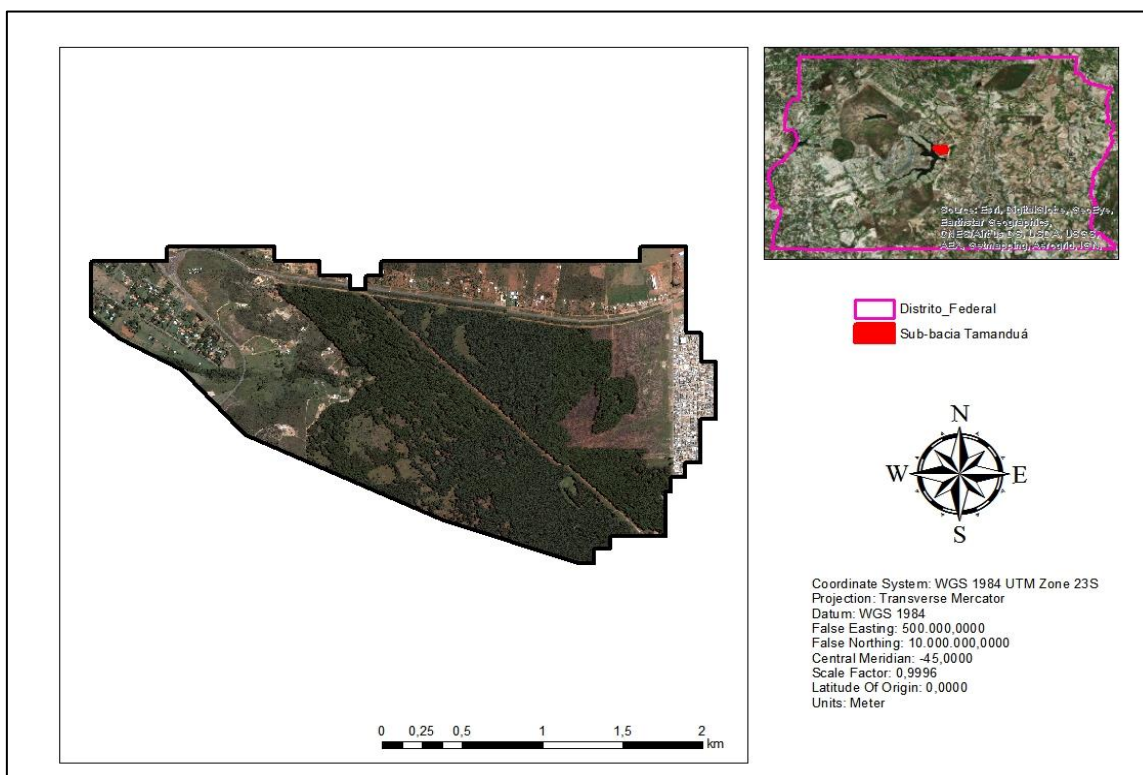


Figura 4.2 – Cenário Pré-urbanização da Sub-bacia Tamanduá referente ao ano 2002.



Figura 4.3 – Cenário Pós-urbanização da Sub-bacia Tamanduá referente ao ano 2015.

4.2. TRATAMENTO DOS DADOS

Esta etapa de manipulação dos dados foi realizada com base no fluxograma metodológico da Figura 4.1 que consiste:

- Obtenção dos dados na forma de série histórica:
 - Precipitação pelas estações pluviométricas ANA e Caesb;
 - Sólidos Dissolvidos Totais pelas estações hidrossedimentológicas da Caesb;
- Obter a vazão de projeto gerado por uma precipitação crítica e relacionar com as medições de sedimentos nas estações;
- Construção de hidrogramas (gráfico de vazão x tempo) e polutogramas (gráfico de concentração de poluentes x tempo) pelo comportamento da concentração e carga dos poluentes ao longo do evento de precipitação;

4.2.1. Caracterização da área de estudo



A etapa de caracterização ambiental é fundamental no levantamento de dados para o conhecimento da área de estudo, e é realizada de modo a identificar os principais componentes que influencia na modelagem hidrológica indispensáveis no uso do SWMM.

A análise do uso e ocupação do solo, precipitação, dos tipos de solo e relevo da sub-bacia fornecem subsídios para a utilização do modelo proposto.

O reconhecimento da área utilizando as ortofotos disponibilizadas pela Codeplan – Companhia de Planejamento do Distrito Federal (com resolução espacial de aproximadamente 58 cm) maximizaram a identificação das classes temáticas presentes na sub-bacia do Tamanduá descrita na Tabela 4.1, que vão nortear a produção do mapa de uso do solo no item 4.2.1.1, além de fornecer subsídios para identificação das áreas permeáveis (silvicultura, mata e campo) e impermeáveis (pavimentação e construções civis) que compõe esta sub-bacia.

Tabela 4.1 – Caracterização das principais classes temáticas de uso do solo presentes na sub-bacia Tamanduá.

	<p>Áreas de Urbanização Alta densidade que apresenta mais de 70% de impermeabilização.</p>
	<p>Empreendimento em fase de construção com presença de pavimentação, construções em concreto e solo exposto. Impermeabilização de 50% a 70% do terreno.</p>
	<p>Solo Exposto. Áreas com retirada da cobertura vegetal.</p>
	<p>Silvicultura com finalidade comercial ou de preservação.</p>

	<p>Áreas urbanizadas de Média/Baixa Densidade que apresentam entre 15% e 30% de impermeabilização.</p>
	<p>Áreas urbanizadas de Média Densidade com vias pavimentadas que apresentam superfície de rolamento com pavimento asfáltico ou de concreto. 30% a 50% de impermeabilização</p>

Essas classes temáticas estão contidas na área de estudo delimitada com a utilização da extensão *ArcHydro Tools*, pertencente ao software ArcGis 10.1. Esta ferramenta realiza um conjunto de operações a partir do MDE – Modelo Digital de Elevação, descritas na Figura 4.4. A metodologia utilizada foi proposta pelo Adami *et al.* (2011) para delimitação no reservatório de Itumbiara (GO).

A extensão *ArcHydro Tools* tem um algoritmo que possibilita o preenchimento de sumidouros. Esse algoritmo objetiva eliminar os pixels que possuem valor de elevação muito abaixo dos pixels vizinhos. O preenchimento visa evitar a retenção de fluxo nesta célula. Com base nesse resultado foi calculada a matriz de direção de fluxo e matriz de acumulação de fluxo (Adami *et al.*, 2011).

O passo seguinte foi a definição da rede de drenagem, explicitado na Figura 4.4 como definição de fluxo e segmentação do fluxo. Para a definição da rede drenagem foi definido um número de pixels necessários para definir uma rede de drenagem definida empiricamente a partir da execução de vários testes.

Com suporte das matrizes com a direção de fluxo e com a segmentação da rede de drenagem foi realizada a delimitação das micro-bacias na área e posteriormente vetorizadas. As próximas etapas descritas na Figura 4.4 foram responsáveis pela determinação do exutório na bacia e delimitação do sub-bacia (Adami *et al.*, 2011).



Figura 4.4 – Passos para execução da delimitação e da sub-bacia.

O Modelo Digital de Elevação (MDE) utilizado na delimitação foi obtido a partir das curvas hipsométricas da base cartográfica do SICAD (Sistema Cartográfico do Distrito Federal), organizada para o PDOT do DF. A base está na escala 1:10000 com curvas de nível de 1m, transformadas em TIN – Triangulated Irregular Network e depois MNT – Modelo Numérico de Terreno, a partir das ferramentas do ArcGis. Tal procedimento foi utilizado para construir um Mapa de Elevação do Terreno utilizado como dado de entrada no modelo SWMM.

O MDE, também usado no SWMM, serviu de auxílio na atribuição ao valor de declividade e elevação dos componentes de drenagem: poços de visita, condutos, exutório, bacia de detenção e área de contribuição, com base no algoritmo do próprio modelo hidrológico que elaborou um shape de declividade.

4.2.1.1. Construção do Mapa de Uso e Cobertura do Solo

No ano de 2014, o Núcleo de Geoinformação da Codeplan – Companhia de Planejamento do Distrito Federal desenvolve um projeto de Infraestrutura de Dados Espaciais, disponibilizando na internet a disponibilização de mosaicos de ortofotos (fotos aéreas corrigidas geometricamente) do Distrito Federal dos anos de 2009 a 2015 (Codeplan, 2014).

Para a construção do mapa de uso e cobertura do solo, foram utilizadas as seguintes imagens:

- Ortofotos oriundas do levantamento aerofotogramétrico do Distrito Federal do ano de 2015 disponibilizadas pela Codeplan, com resolução de 58 centímetros projeção UTM e DATUM WGS84;
- Imagens do software Google Earth Pro obtidas do satélite Ikonos, referente ao ano de 2002, com resolução de 61 centímetros;
- Imagem do satélite *RapidEye* na resolução geométrica de 5 metros. A imagem de média resolução dos satélites *RapidEye*, por sua vez, será do ano de 2002 e 2015, em função da disponibilidade temporal desses produtos junto ao Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Tendo em vista a necessidade de maior detalhamento da área de estudo, foram realizadas técnicas de sensoriamento remoto nas imagens citadas. Foi usada uma adaptação da metodologia aplicada por Carvalho *et al.* (2015) visando a melhor visualização dos elementos de uso do solo por meio de técnica de detecção de mudanças.

Para elaboração dos mapas de uso e cobertura do solo foram adotados os SIGs: SPRING 5.4.1 desenvolvido pelo INPE, e ArcGis 10.1 desenvolvido pela ESRI.

O primeiro procedimento desta metodologia foi na elaboração dos mapas para os períodos estudados. O processamento foi feito no SPRING, onde foi executada a classificação temática supervisionada das imagens de sensores remotos por regiões, conhecida como classificação Bhattacharya, cuja sequência metodológica a seguir envolve passos de processamento digital dessas imagens, conforme explicitado em Almeida *et al.* (2012).

- a) **Normalização radiométrica.** O processo de normalização radiométrica é uma técnica de calibração relativa que consiste na regressão linear entre imagens multiespectrais em uma série temporal em relação a uma imagem de referência. Esta técnica diminui diferenças radiométricas entre imagens, causadas por inconsistências de condições de aquisição, ao invés de mudanças reais de cobertura da terra;
- b) **Registro de imagens** tomando-se como base as imagens do Google Earth Pro e as ortofotos.
- c) **Fusão IHS com banda pancromática** (para as imagens do *RapidEye*). A fusão de imagens combinou imagens de diferentes características espectrais e espaciais para sintetizar uma nova imagem com melhor resolução espacial do que a imagem multiespectral original;

- d) Reamostragem para resolução espacial de 0,61 metros para imagem do Google Earth pro e 0,58 metros para as ortofotos. A operação entre imagens só pode ser feita em compatibilidade de resolução espacial.
- e) Transformação de componentes principais (PC). Essa técnica é utilizada para decorrelacionar as bandas espectrais, concentrando no Primeiro Componente (PC-1), em que a informação espectral presente nas bandas espectrais das imagens é distribuída nas várias dimensões. Esse componente reuniu a informação de brilho associada às sombras de topografia e às grandes variações de refletância espectral geral das bandas;
- f) Obtenção do NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). O método utilizou a diferença da refletância entre a faixa do infravermelho próximo e a refletância da faixa do visível. Os valores do índice variam de -1 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, mais densa é a vegetação e que o valor zero se refere aos pixels não vegetados. O NDVI é o índice de vegetação mais usado por reduzir o efeito topográfico e é calculado segundo a Equação.

$$NDVI = \frac{IV - VM}{IV + VM}$$

Equação 4.1

Sendo, IV a banda do infravermelho próximo e VM a banda do vermelho.

- g) Segmentação das imagens pela técnica de crescimento de regiões com suavização de arcos usando as bandas PC e o NDVI;
- h) Treinamento e classificação temática de Bhattacharya com limiar de 99% nas classes: Área Urbana, Campo, Mata, Silvicultura, Solo Exposto e Vias.
- i) Pós-classificação: Aplicou-se este procedimento em uma imagem classificada, com o objetivo de uniformizar os temas, ou seja, eliminar pontos isolados, classificados diferentemente de sua vizinhança. Com isto foi gerado imagem classificada com aparência menos ruidosa;
- j) Vetorização e edição que removeu possíveis confusões do algoritmo. Na vetorização, cada classe temática é associada ao seu respectivo polígono, produzindo um mapa temático de uso e cobertura do solo;

Foram confeccionados dois mapas de uso do solo correspondentes ao período antes (no ano de 2002) e depois (no ano de 2015) da urbanização do empreendimento Paranoá Parque, devido este ser o fator determinante na mudança paisagística da sub-bacia em um curto espaço de tempo.

4.2.1.2. Determinação do CN

Primeiramente realizou-se o levantamento dos dados de pedologia pela Terracap, contendo os tipos de solos e suas classificações diante aos grupos hidrológicos. O mapeamento das informações de uso e cobertura do solo somaram a essa etapa, uma vez que, o método de SCS escolhido, para posterior utilização no modelo hidrológico, utiliza-se da técnica de quantificação de áreas impermeáveis e da representação das classes obtidas no mapeamento.

A Tabela 3.3 contém os valores de CN proposto para uso e cobertura do solo de bacias urbanas, definido para a Condição II de umidade do solo, segundo Porto (1995). A condição foi determinada a partir da verificação de eventos de chuva antecedentes aos utilizados na metodologia no Item 4.2.2. A Equação 4.2 mostra o cálculo de CN para cada área de contribuição a ser utilizada na modelagem, considerando a área das classes resultantes da união do mapa de grupo hidrológico de solos e uso e ocupação.

$$CN = \frac{Ax * CNx + Ay * CNy + Az * CNz \dots}{A_{contribuição}}$$

Equação 4.2

Onde:

$Ax(y,z)$ = área de cada tipo de solo resultante de ((Mapa de Grupo Hidrológico + Mapa de Uso e Ocupação do Solo) \cap Shape das áreas de contribuição)

$CNx(y,z)$ = valor do CN obtido da Tabela 3.3

$A_{contribuição}$ = Área total da contribuição para o poço de visita (explicitado no Item 4.3.2).

4.2.2. Precipitação de projeto

Foram escolhidas para as chuvas de projeto: uma precipitação diária ocorrida na data de 11/03/2015 e 12/03/2015 com aproximadamente 50 mm, descrito pela Figura 4.5; e chuva prevista no PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana no Distrito Federal descrita pela Concremat. A precipitação real foi determinada por ser o maior volume precipitado no ano de 2015 e a necessidade do uso de dados reais na modelagem de qualidade da água.

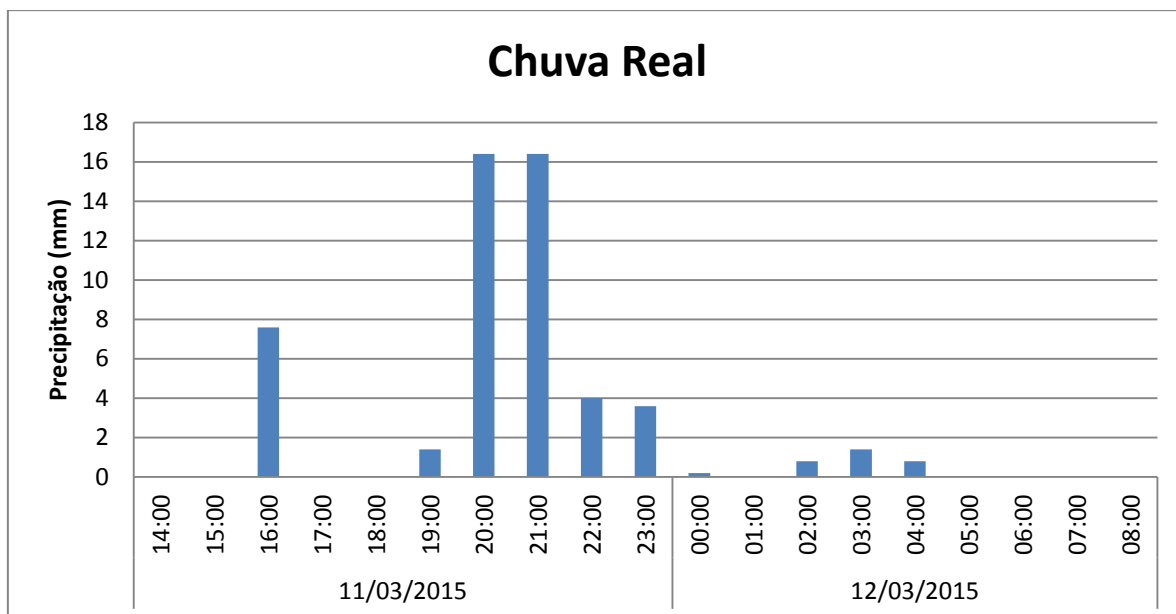


Figura 4.5 – Chuva de projeto determinada para o estudo.

No PDDU foi recomendado pela Concremat o método racional como forma de determinar a vazão gerada em uma bacia por uma precipitação simulada, como orientação aos projetistas, para o uso nas obras de drenagem urbana no DF. O uso desse método é limitado para áreas de até 200 ha. A Equação 4.3 fornece o cálculo da intensidade da precipitação:

$$I = \frac{1574,7 \times T^{0,207}}{(t + 11)^{0,884}}$$

Equação 4.3

Onde T é o tempo de retorno previsto pelo PDDU em 10 anos, t é a duração em minutos e I é a intensidade em mm/h. A altura de precipitação pode ser calculada a partir da Equação 4.4.

$$P = I \times t$$

Equação 4.4

Em que I é intensidade em mm/h e t é a duração em horas.

4.2.3. Aquisição dos dados hidrológicos e de qualidade da água

Foram utilizados os dados de precipitação e qualidade da água das estações hidrossedimentológicas de monitoramento da Caesb e ANA, para análise das informações de qualidade das águas das bacias hidrográficas da área de estudo. Após esta etapa, ocorreu

uma correlação dos dias com dados qualitativos (matéria em suspensão e matéria dissolvida) e quantitativos (precipitação e vazão), além da construção de hidrogramas e polutogramas, onde foi verificado o perfil dos componentes analisados, para escolha do dia com melhor distribuição espacial da chuva, o que possibilita aumentar eficiência do resultado do modelo SWMM (Costa 2013).

4.3. MODELAGEM HIDROLÓGICA

A utilização do modelo SWMM, responsável pela modelagem hidráulica- hidrológica é baseada na compreensão dos efeitos da degradação da qualidade da água devido ao escoamento superficial, que degrada a qualidade ambiental dos corpos hídricos, no estudo em questão, se trata Unidade Hidrográfica do Paranoá. A utilização desta ferramenta visará à análise do impacto das águas pluviais e o carreamento de poluentes pela chuva, além de possuir potencial para avaliação de medidas de mitigação.

Este modelo permite determinar o escoamento gerado em cada sub-bacia, a vazão, a profundidade do fluxo, a concentração de poluentes, dentre outros. Para a obtenção dos resultados, será utilizado o módulo “Escoamento”. A seguir são descritas as etapas metodológicas denominadas de “Modelagem” constantes da Figura 4.1, visando à compreensão das ferramentas e seus usos nas atividades descritas:

- Estudo do modelo
- Organização dos dados de entrada e definição das características da bacia:
 - Uso e ocupação do solo (obtida pela interpretação de imagem);
 - Precipitação (obtido pelas estações pluviométricas);
 - Declividade, área da bacia, largura, permeabilidade do solo (obtida pelas ferramentas SIG);
 - Interpretação de mapa pedológico 1:10000;

Dispositivos de drenagem: Comprimento do canal/tubulação, forma, tipo do conduto, rugosidade, modelo de propagação de fluxo, profundidade do canal/tubulação.

4.3.1. Modelo de infiltração e de propagação de fluxo

O modelo para o cálculo da infiltração foi o Curva-Número, pertencente ao método *Soil Conservation Service* (SCS). O modelo está relacionado com o uso do solo e grupo hidrológico predominante na bacia e a condição de umidade do solo. Durante um evento de

precipitação a capacidade total de infiltração do solo é função da chuva acumulada e da capacidade de infiltração remanescente.

No SWMM, foi determinado o fluxo de onda dinâmica como modelo de transporte, para possibilitar o cálculo dos níveis de água nos nós e as das vazões nos condutos considerando o armazenamento dos condutos, o ressalto hidráulico, as perdas nas entradas e saídas do conduto, o remanso e o fluxo pressurizado, além de ser aplicável para vários traçados de rede de drenagem (Rossman, 2010).

Com relação ao coeficiente de rugosidade de Manning, a tabela proposta McCuen (1998) define os valores para superfícies permeáveis pouco gramadas ($n = 0,15$) e impermeáveis ($n = 0,011$). A partir de uma visualização das imagens de satélites disponíveis foi constatada a presença marcante destas duas características na bacia, que são dados de entrada do programa SWMM.

Com base na análise do mapa de pedologia fornecido pela Terracap, o solo presente nas margens dos córregos pode ser descrita como “Cambissolo”, solo de textura siltico-argilosa, comumente cascalhento, relevo ondulado e forte ondulado, distrófico e apenas localmente eutrófico, com rochosidade comum em áreas com maiores declividades. Com estas características, é possível estabelecer o coeficiente de Manning para o curso d’água a partir da definição constante em Chaudhry (1993), considerando o tipo de solo do local e obtendo o coeficiente de $n = 0,030$.

As depressões do terreno urbano são responsáveis pela parcela de aprisionamento da água pluvial que não escoar (também utilizado como informação input no SWMM), e são normalmente caracterizadas como impermeáveis ou pouco permeáveis, não existindo uma parcela considerável no solo, o que acarreta que esta porção fique sujeita à evaporação. Os valores utilizados para o armazenamento em depressões foram determinados por Souza *et al.* (2012) que definem tanto para áreas permeáveis quanto para impermeáveis:

- Para superfície impermeável com coeficiente de rugosidade $n = 0,011$ a capacidade de armazenamento em depressões é de 1,90 milímetros.
- Para superfície permeável com coeficiente de rugosidade $n = 0,15$ a capacidade de armazenamento em depressões é de 5,08 milímetros.

4.3.2. Caracterização da rede de drenagem

A Figura 4.6 mostra a rede de drenagem de águas pluviais proposta pela empresa Topocart (2012), que projetou o sistema para o EIA/RIMA do empreendimento Paranoá Parque. Na imagem pode visualizar os condutos representados na cor amarela, os poços de visita representados por pontos na cor azul, a área de contribuição para cada poço na cor lilás e um ponto na cor verde que representa a bacia de detenção proposta no projeto. Esta rede de drenagem será utilizada no SWMM para a modelagem.

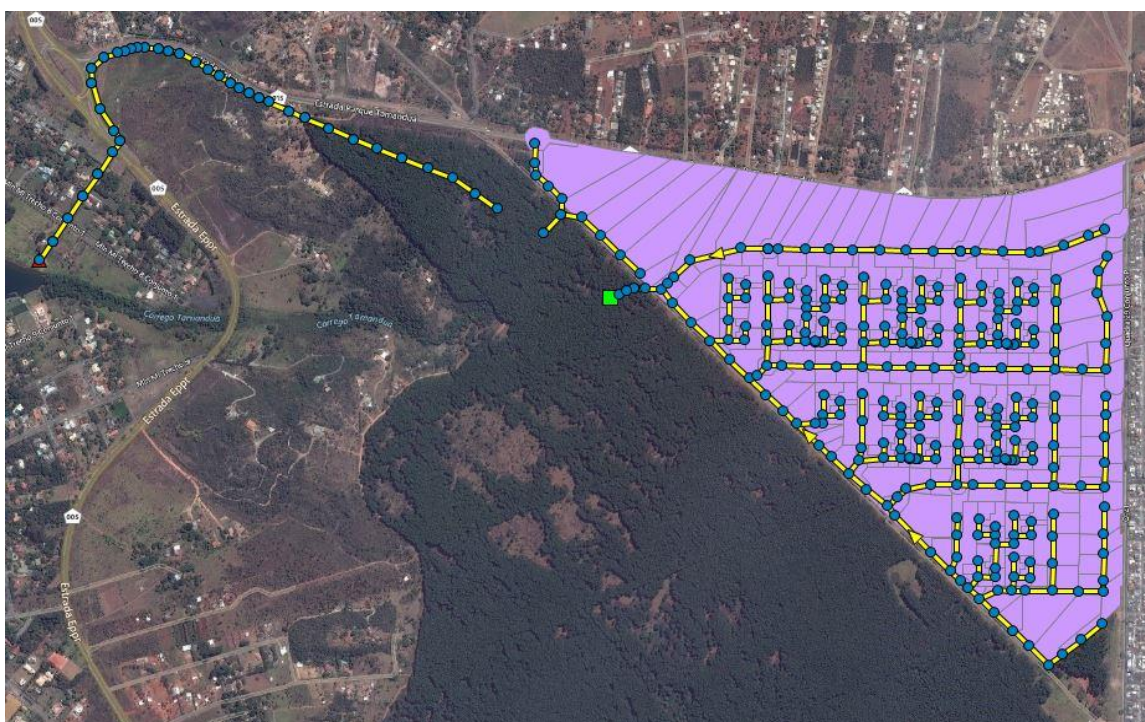


Figura 4.6 – Rede de drenagem de águas pluviais do Paranoá Parque.

Na Figura 4.6 cada nó (poço de visita) está associado a uma área de contribuição, responsável por drenar a água pluvial desta área para o seu respectivo nó. Desse modo, os parâmetros de impermeabilização, uso do solo, CN e MDE (Modelo Digital de Elevação), estão contidos nestas áreas regendo a quantificação do fluxo de água até atingir a rede.

Como descrito no Item 4.2.1, nos dois cenários estipulados foi utilizado um arquivo MDE para o cálculo da declividade de todo o sistema, por meio de uma ferramenta do próprio SWMM para a posterior interpolação com os elementos da rede de drenagem. A inserção das informações de CN e Uso do Solo no SWMM contaram com o suporte de uma ferramenta contida software de ponderação de área capaz de atribuir, para cada área, de contribuição da sub-bacia: os valores médios de CN (calculado no Item 4.2.1.2) e a

porcentagem de cada classe temática presente baseado nos mapas de uso e coberturas do solo criados no Item 4.2.1.2.

4.3.3. Qualidade da água

O acúmulo e lavagem de poluentes numa bacia hidrográfica são determinados a partir do uso do solo. Desse modo, cada classe presente na área, terá uma resposta diferente destas duas variáveis para cada tipo de poluente resultando no aspecto de qualidade da água.

Dentre as Equações 3.4 a 3.9 relacionado ao modelo de qualidade da água do SWMM, foi adotada a equação exponencial (EXP) para as variáveis de acúmulo e lavagem no editor de uso do solo do programa. Os coeficientes foram determinados empiricamente segundo a metodologia proposta por Alvarez (2010), que utiliza a concentração dos poluentes considerados na modelagem (SDT – Sólidos dissolvidos totais), e que foram obtidas da estação sedimentológica da Caesb.

Os cálculos das concentrações dos poluentes por unidade de área (kg/ha), que governaram a determinação dos coeficientes C1 e C2 da Equação 3.5 para o acúmulo e carreamento de poluentes, consideram o valor de C (coeficiente de deflúvio) de cada sub-bacia. Os valores de C para cada sub-bacia foram obtidos utilizando a metodologia do SCS, expressos nas Equações 4.5 a 4.7, e supondo $I_a = 0,2S$; P_{ac} – precipitação acumulada referente à precipitação de projeto e um valor CN referente para cada micro-bacia (TUCCI, 2002).

$$C = \frac{Q_{ac}}{P_{ac}}$$

Equação 4.5

$$Q_{ac} = \frac{(P_{ac} - I_a)^2}{P_{ac} - I_a + S}$$

Equação 4.6

$$S(mm) = 25,4 * \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

Equação 4.7

Onde

C = Coeficiente de deflúvio

Qac = Vazão de escoamento (m³/s)

Pac = Precipitação acumulada (mm)

S = Capacidade máxima de armazenamento de água (mm)

CN = Curva-Número

Ia = Lâmina infiltrada (mm)

O coeficiente C2 (l/dia) referente à constante de crescimento de cada poluente da função EXP, foi obtida a partir do quociente entre os valores de concentração (kg/ha) e a carga específica (kg/ha.dia).

Os coeficientes empíricos determinados serviram no apoio para a definição da concentração de poluentes na bacia, com a simulação utilizando a precipitação real descrita no Item 4.2.2.

A proposta na análise de sólidos consiste em uma tentativa de aplicação da metodologia utilizada por Alvarez (2010) com relação à determinação da qualidade de drenagem urbana com base ecohidrológica.

5. RESULTADOS

5.1. ANÁLISE DO USO DO SOLO

Elaboraram-se dois mapas de uso do solo para a utilização nas simulações. O primeiro com sobre as imagens do Google Earth Pro fusionadas com a imagem *Rapideye*, referentes ao ano de 2002 para determinar as condições de pré-urbanização da sub-bacia do Tamanduá. O segundo mapa de uso e ocupação do solo foi obtido sobre as ortofotos fusionadas com imagem *Rapideye*, de 2015, representando a área com certo avanço da mancha urbana.

5.1.1. Análise do Uso do Solo (Antes da urbanização)

A Figura 5.1 apresenta o mapa de uso e cobertura do solo no ano de 2002, antes da implantação do Paranoá Parque. É perceptível a baixa densidade de urbanização na sub-bacia do Tamanduá, sendo majoritariamente composta pela RA Paranoá.

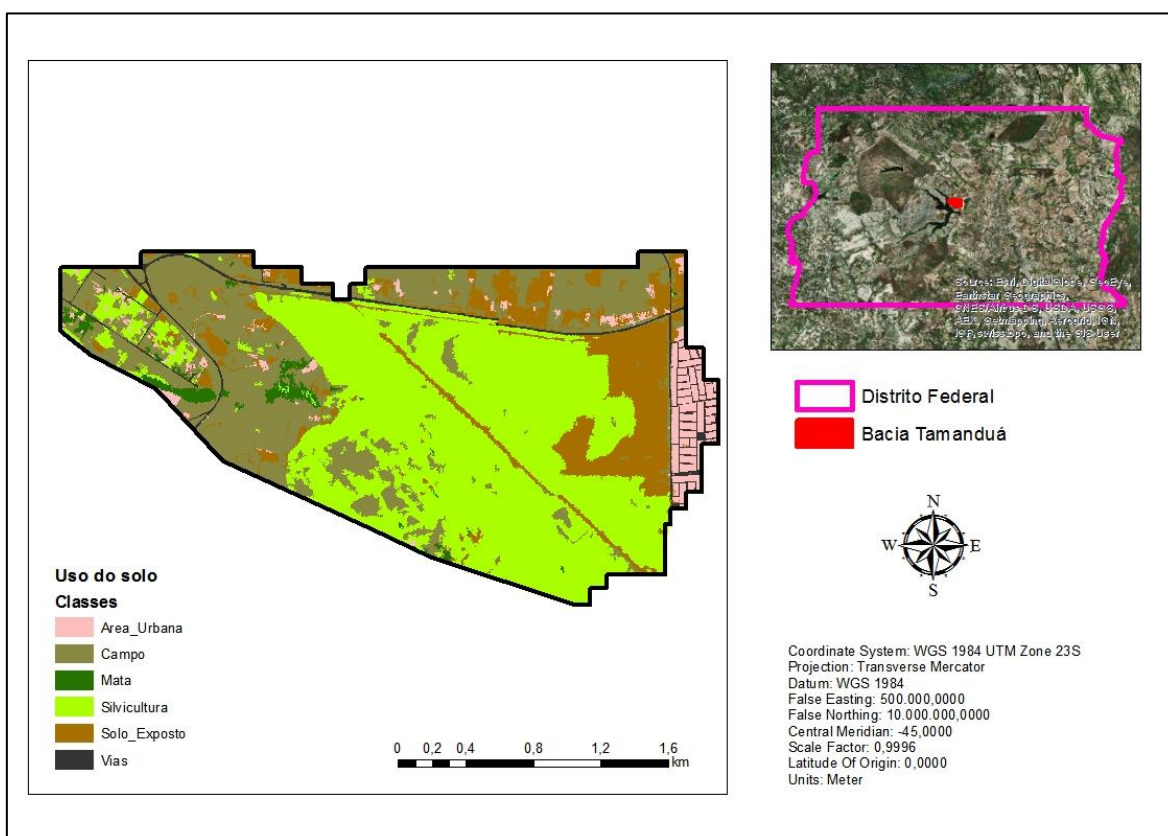


Figura 5.1 – Mapa de uso e cobertura do solo no cenário de pré-urbanização na Sub-bacia Tamanduá.

5.1.2. Análise do Uso do Solo (Depois da urbanização)

A Figura 5.2 apresenta o mapa de uso e cobertura do solo no ano 2015 em um cenário de da bacia do Tamanduá depois da urbanização, na fase de implantação do empreendimento

Paranoá Parque. No mapa é possível observar a parte da urbanização consolidada da Região Administrativa (RA) Paranoá, situada ao Leste do mapa. Observa-se uma grande parcela de solo exposto, cerca de 25% do total da bacia, devido às obras no local que geram significantes movimentações de terra. A classe temática de mata galeria ocupa apenas 2% da área de estudo e refere-se à pequena porção de que margeia o córrego Tamanduá. A classe temática Campo compreende por 26% da área, e nesta está inclusa algumas construções bem arborizadas.

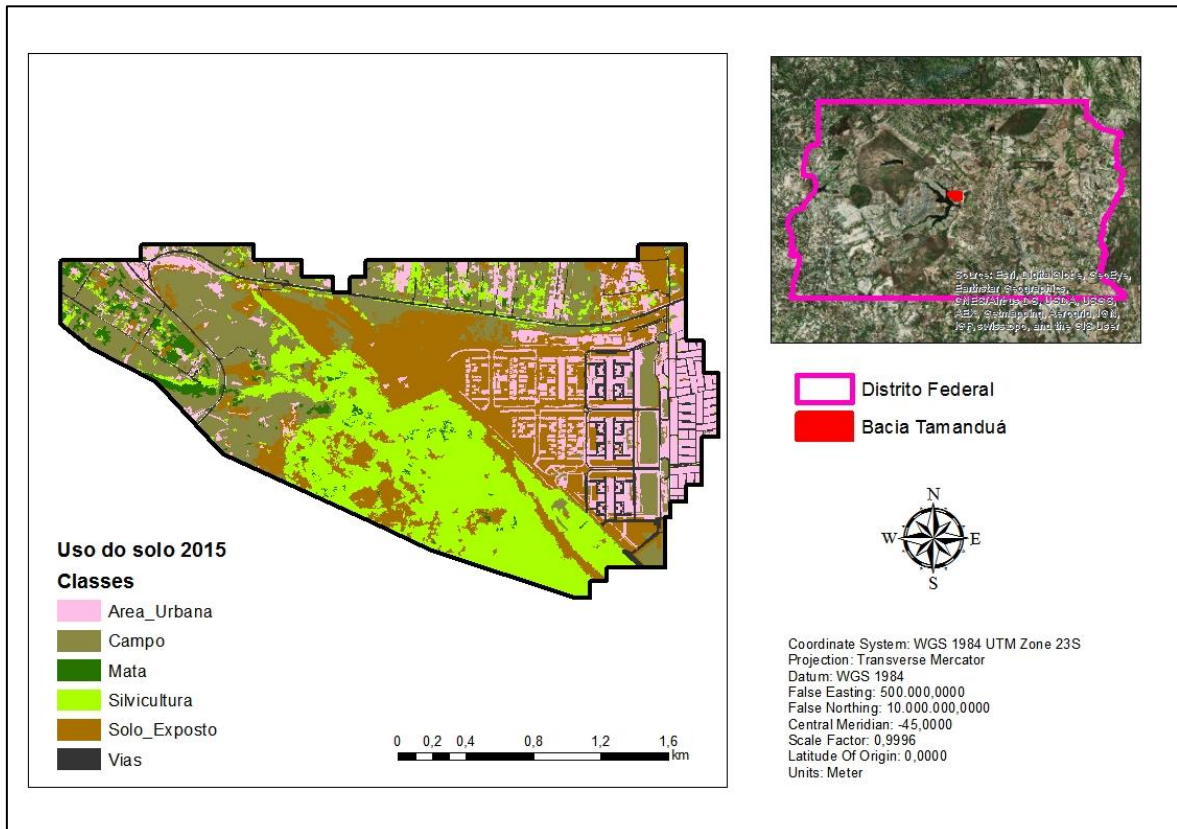


Figura 5.2 – Mapa de uso e cobertura do solo no cenário de pós-urbanização na Sub-bacia do Tamanduá.

5.2. ANÁLISE DA PEDOLOGIA/GRUPO HIDROLÓGICO DE SOLOS

De acordo com mapeamento dos tipos de solos no DF feito pela EMBRAPA no ano de 1978 na escala 1:100.000, foram identificados três tipos de solos na região: Cambissolo, Latossolo Vermelho-Amarelo e Latossolo Vermelho-Escuro. A Figura 5.3 mostra a disposição destes solos na área de estudo.

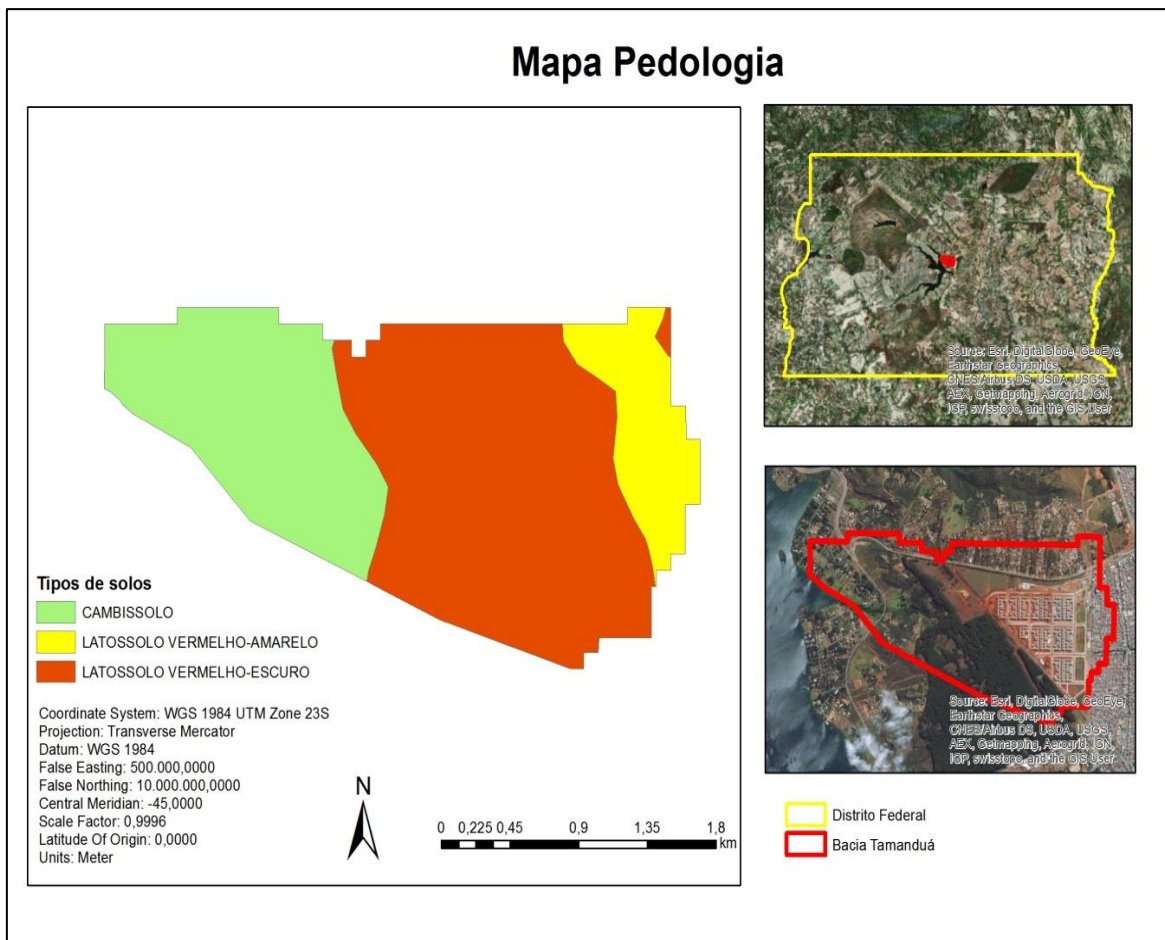


Figura 5.3 – Tipos de solos presentes na Sub-bacia Tamanduá, Embrapa (1978).

Os solos minerais do tipo Cambissolos apresentam uma textura de média a fina, com presença de fragmentos de rocha na massa de solo e determinados indícios de intemperismo com pouca profundidade. Normalmente estão presentes em terrenos com relevo muito ondulado e acidentado com características de alta erodibilidade e grande potencial de escoamento superficial (Sartori *et al.*, 2004).

Os Latossolos, por sua vez, ocupam a maior parte da área estudo e estão divididos em duas classes: Vermelho-Amarelo e Vermelho-Escuro. Estão presentes em relevos com declividade inferior a 5% e possuem alto índice de porosidade total (entre 50% a 60%), mesmo com maiores teores de argila, onde proporciona boas condições de drenagem. Devido à baixa declividade, este tipo de solo gera um baixo potencial de escoamento superficial obtendo uma erodibilidade baixa. Ações antrópicas podem provocar ravinas profundas nos Latossolos quando submetidos à concentrações de água (Sartori *et al.*, 2004)

A Figura 5.4 refere-se ao mapa do Grupo Hidrológico de Solos obtido a partir do mapa de Pedologia disponibilizado pela Terracap. O mapa indica a presença de dois grupos: Tipo A

– grupo que compreende dois tipos de solo presente na área de estudo, o Latossolo Vermelho e o Latossolo Vermelho Amarelo, em que ambos possuem características de solos profundos, com elevadas taxa de infiltração e de resistência à erosão, são porosos com baixo teor de argila e baixo potencial de escoamento superficial; e o tipo D – contém o solo Cambissolo Haplico, com taxa de infiltração muito baixa, pouca resistência à erosão, rasos, orgânicos com alto teor de argila e, conseqüentemente, apresentam alto potencial de escoamento superficial.

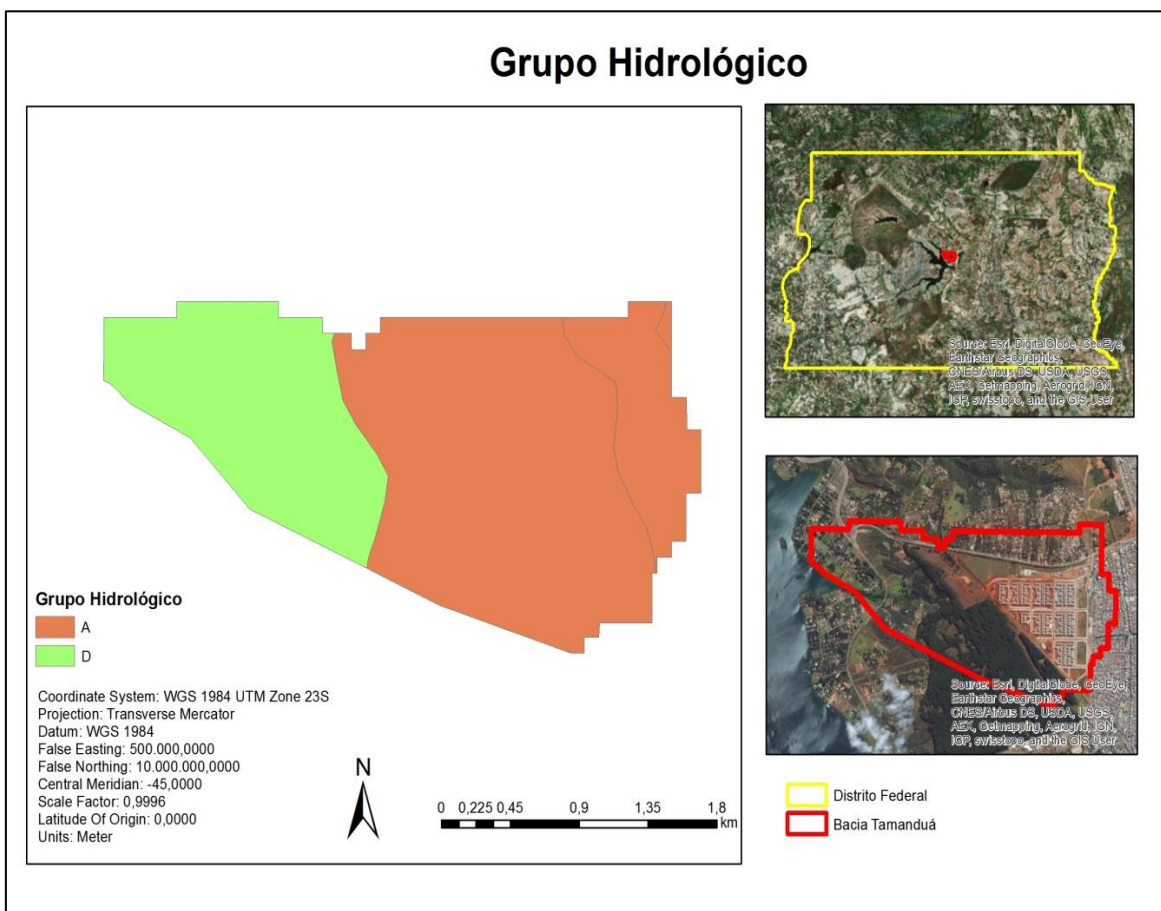


Figura 5.4 – Mapa do grupo hidrológico de solos na Sub-bacia Tamandúá.
Fonte: Terracap (1978).

5.3. CURVA NÚMERO

Os mapas apresentados nas Figuras 5.5 e 5.6 mostram o valor de CN na área de estudo nos dois cenários propostos. Foram produzidos a partir da combinação do mapa de Pedologia e Uso do solo nos dois períodos, com o objetivo de utilização no software SWMM na determinação da infiltração pelo modelo SCS.

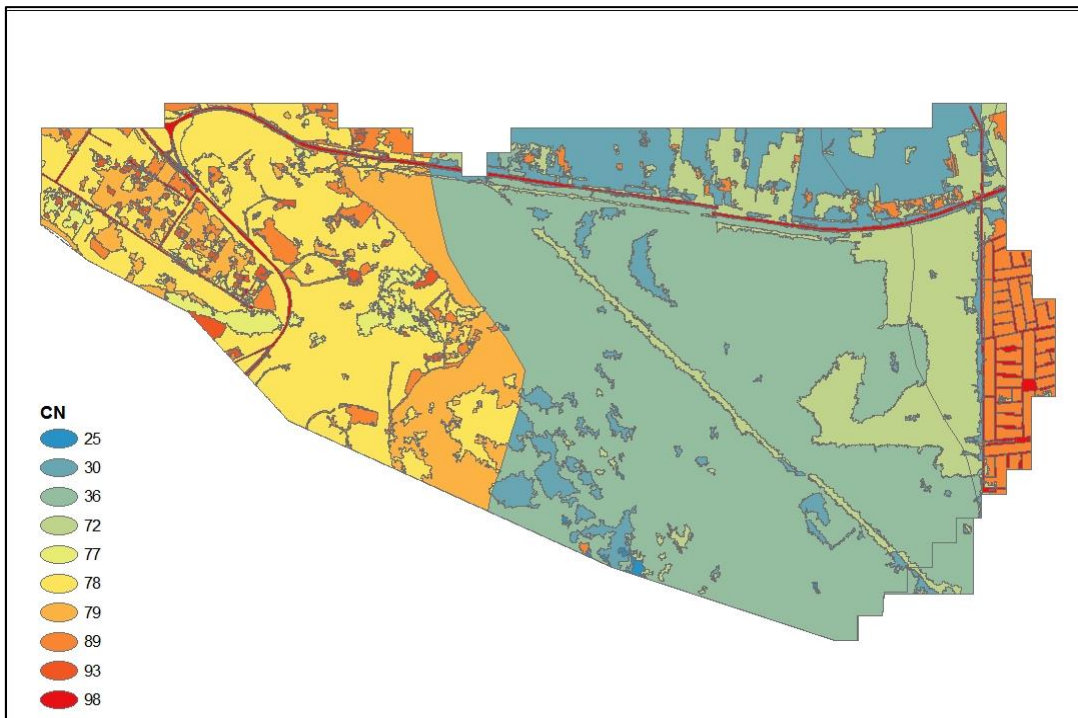


Figura 5.5 – Mapa de CN na Sub-bacia Tamanduá antes da urbanização.

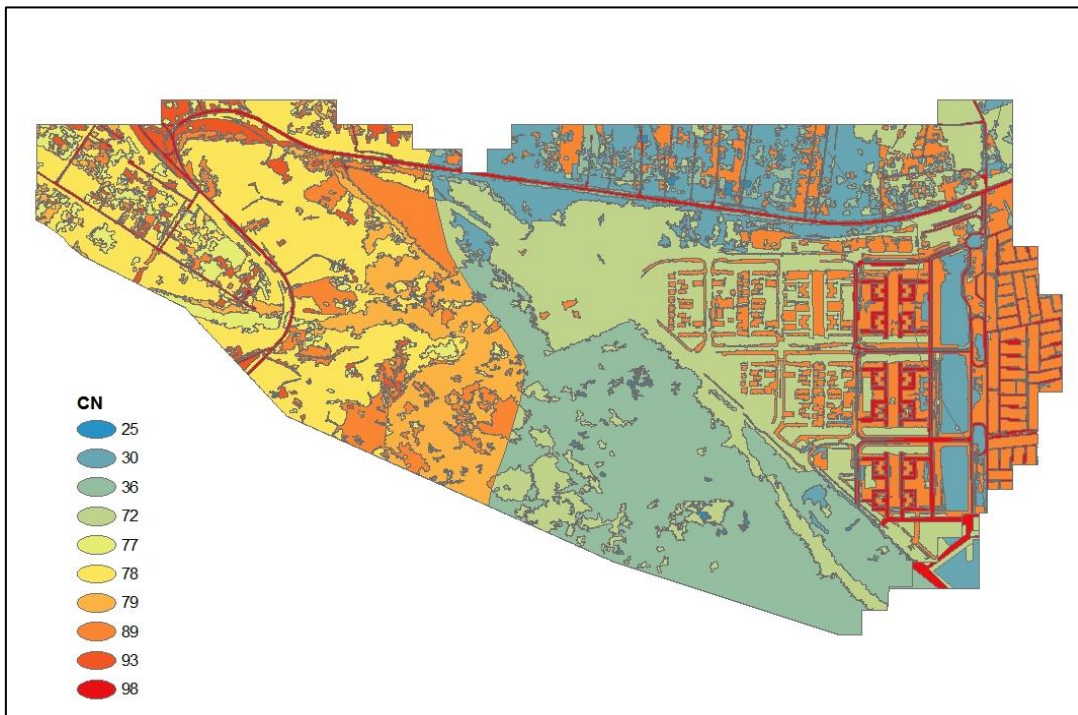


Figura 5.6 – Mapa de CN da Sub-bacia Tamanduá depois da urbanização.

O mapa de CN da Figura 5.6 indica o fator de impermeabilização decorrente do uso do solo em uma bacia hidrográfica, em uma escala de 0 a 100. Quanto maior o valor mais impermeável é a cobertura do terreno, como descrito pelas cores mais quentes (vermelho, laranja e amarelo), nas Figuras 5.5 e 5.6. Em uma análise gráfica pode ser observado valores altos de CN nas áreas urbanizadas e nas vias pavimentadas das Figuras 5.5 e 5.6.

Consequentemente, nas zonas com predominância de vegetação, predomina valores mais baixos deste parâmetro indicando áreas mais permeáveis que possibilitem a infiltração das águas pluviais no solo, expresso nas Figuras 5.5 e 5.6 pelas cores mais frias (azul e verde). Somente pela análise do método SCS (*Soil Conservation Service*), é possível a percepção da influência da urbanização no aumento do escoamento superficial. Porém, devido à subjetividade da escolha no CN da Tabela 3.3, de acordo com os usos e tipos de coberturas do solo presentes na sub-bacia de estudo, e devido à impossibilidade de quantificar o impacto do escoamento superficial somente com este parâmetro, a utilização única deste método não é recomendável, para estudos de drenagem urbana.

5.4. ANÁLISE DA ALTITUDE

No mapa digital de elevação apresentado na Figura 5.7 da área de estudo obtida pelo fatiamento das classes de altitude a partir do MNT, observa-se um desnível acentuado da elevação de montante pra jusante, variando da cota máxima de 1168m para a cota mínima de 1002m próxima ao Lago Paranoá.

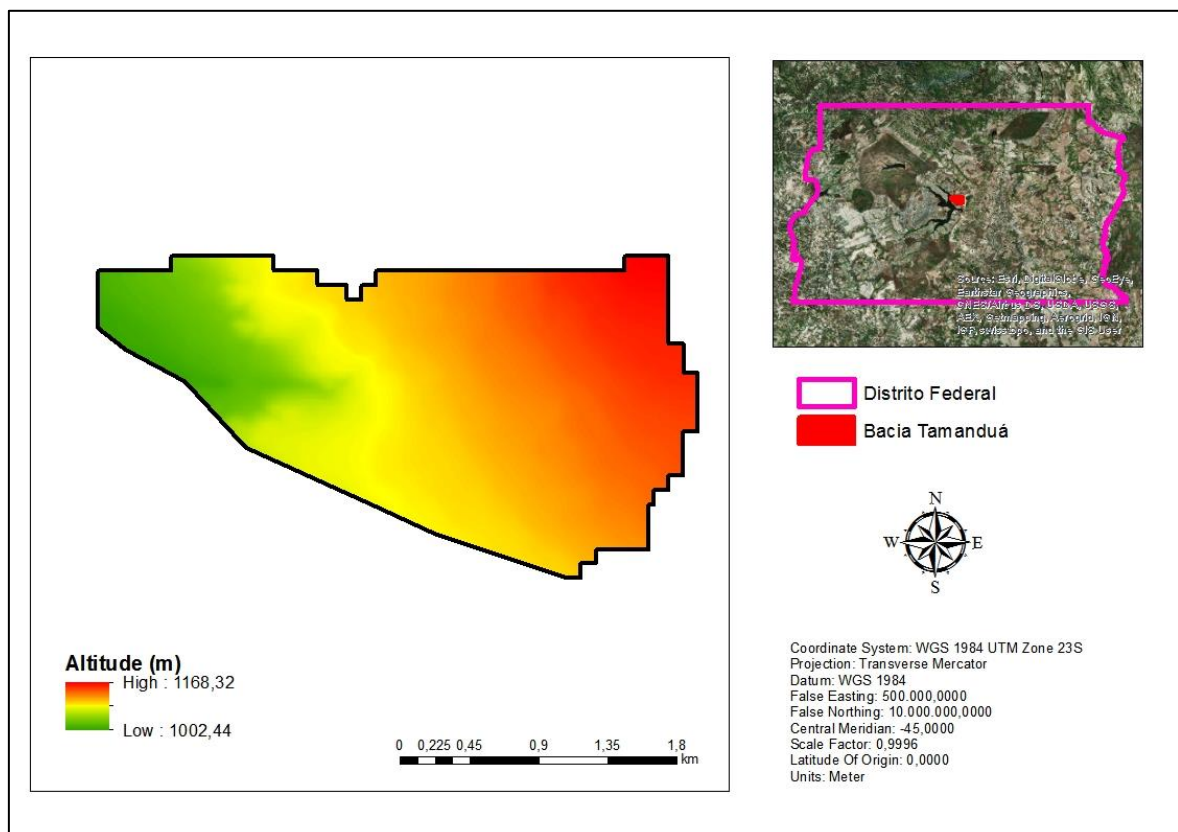


Figura 5.7 – Mapa Digital de Elevação da Sub-bacia Tamandúá.

5.5. SIMULAÇÃO E COMPARAÇÃO DE CENÁRIOS

O presente estudo foi realizado com o objetivo de avaliar o impacto da urbanização para a bacia de detenção, visto que esta contribui para a amenização dos impactos de vazão (com amortecimento do hidrograma) e poluentes (a partir da deposição dos mesmos na própria bacia) para o exutório final da sub-bacia do Tamanduá que deságua no Lago Paranoá.

Conforme descrito na metodologia, a simulação no SWMM foi realizada a partir de duas precipitações: uma chuva real e outra simulada. A precipitação do PDDU – Plano Diretor de Drenagem Urbana do DF descrita pela Figura 5.8, recomenda uma precipitação com 24 horas de duração, obtida pelo método dos blocos alternados com blocos a cada 5 minutos. Foi utilizada uma duração de 30 horas para garantir que todos os impactos da chuva fossem representados no gráfico. A precipitação foi utilizada nos dois cenários propostos, a fim de avaliação da influência do uso e cobertura do solo para um mesmo evento de precipitação.

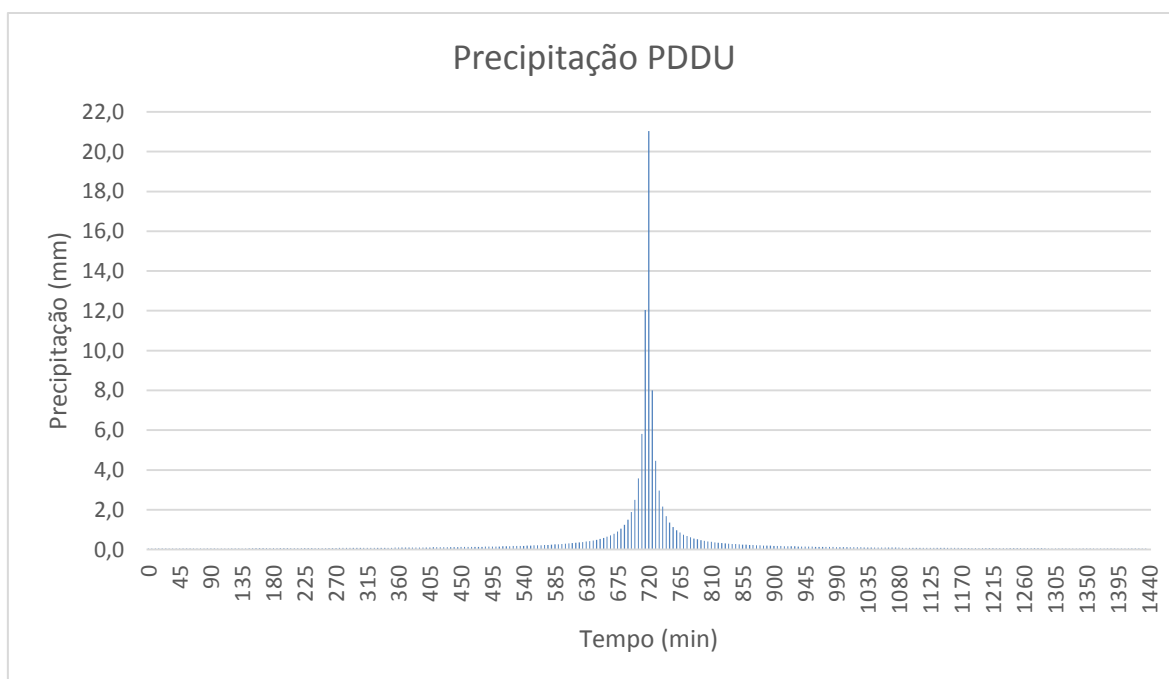


Figura 5.8 – Chuva de projeto PDDU

A Figura 5.9 representa o hidrograma da saída da bacia com resposta a precipitação recomendada do PDDU. O pico máximo de intensidade de precipitação chega a 252 mm/h atingindo valores máximos de vazão de 11,36 m³/s depois de 725 minutos de precipitação no cenário pós-urbanizado; e 8,40 m³/s após 729 minutos de precipitação no cenário pré-urbanizado.

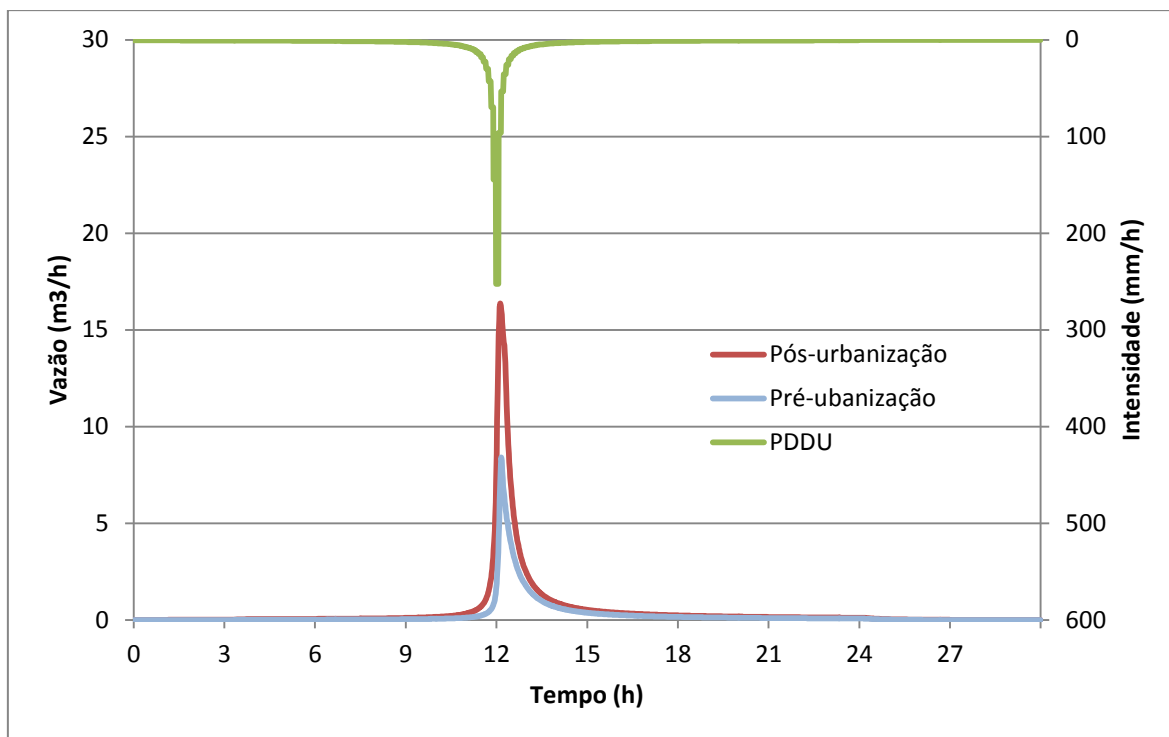


Figura 5.9 – Hidrograma gerado na saída da Sub-bacia Tamanduá, a partir da chuva simulada do PDDU.

Nota-se que a vazão aumenta cerca de 35% com a etapa de instalação do empreendimento Paranoá Parque e já é possível verificar o impacto no aumento da vazão na drenagem da região. Apesar da diferença, é observado um pico de vazão relativamente alto para o cenário antecedente a urbanização. Este fator pode estar associado à presença do grupo hidrológico D na área de estudo que possui um alto valor de CN, portanto verifica-se uma alta taxa de escoamento superficial. Outro impacto com relação aos dois cenários de ocupação antrópica na área de estudo é a antecipação do pico máximo em cerca de 4 minutos, ou seja, a vazão máxima é atingida mais rapidamente, e pode intensificar prejuízos à jusante e no corpo receptor, como a ocorrência de alagamentos.

A Figura 5.10 mostra o perfil de vazão dos dois cenários propostos (pré e pós-urbanização) no presente estudo, de acordo com a chuva de projeto real disposta na Figura 4.5. É perceptível em uma análise gráfica o impacto do cenário com maior densidade populacional do que o cenário pré-urbanizado. A vazão de pico antes da implantação do empreendimento Paranoá Parque é de $0,74 \text{ m}^3/\text{s}$ enquanto no quadro mais impermeável a vazão chega a $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$, configurando um aumento de 73%. Outro fator é o tempo em que estes cenários atingem a maior vazão, com diferença de 5 min do cenário posterior a urbanização para o cenário antecedente.

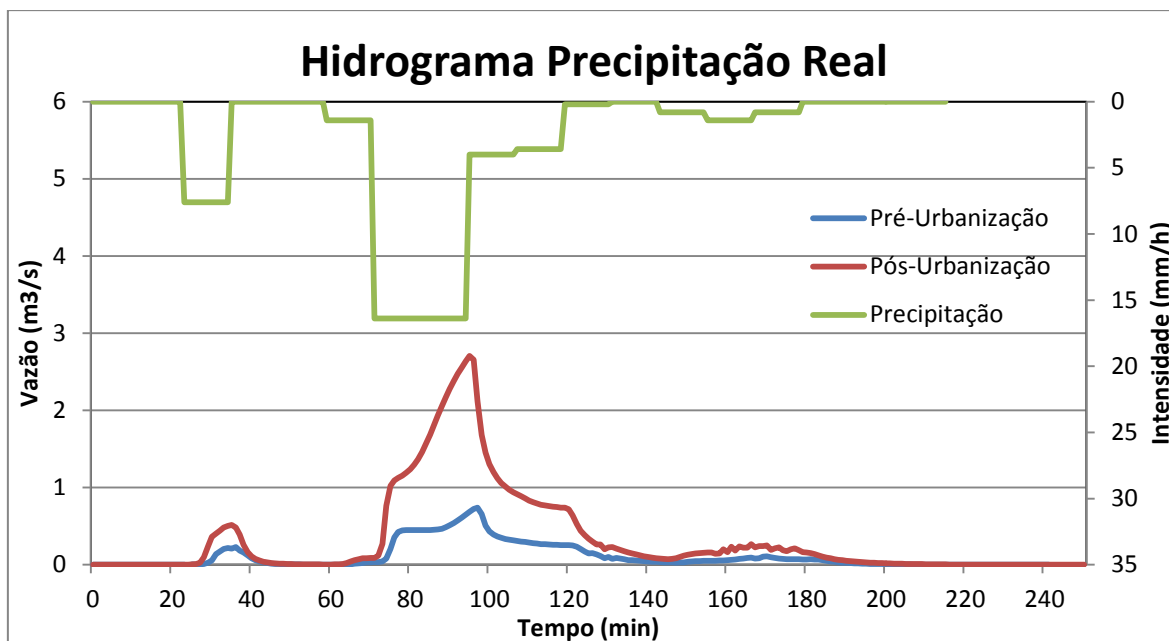


Figura 5.10 – Perfil de vazão na saída pra bacia de detenção.

A variação no final do hidrograma segundo as recomendações do próprio manual do SWMM podem representar um extravasamento dos poços de visita, que pode não estar suportando a vazão das áreas de contribuição. Porém o que se observa na Figura 5.11 é que no pico da vazão máxima da chuva de projeto a vazão não chega a 50% do conduto. Desse modo, uma hipótese para a explicação deste fato são as precipitações que ocorrem no final da chuva de projeto causando esta variação na vazão.

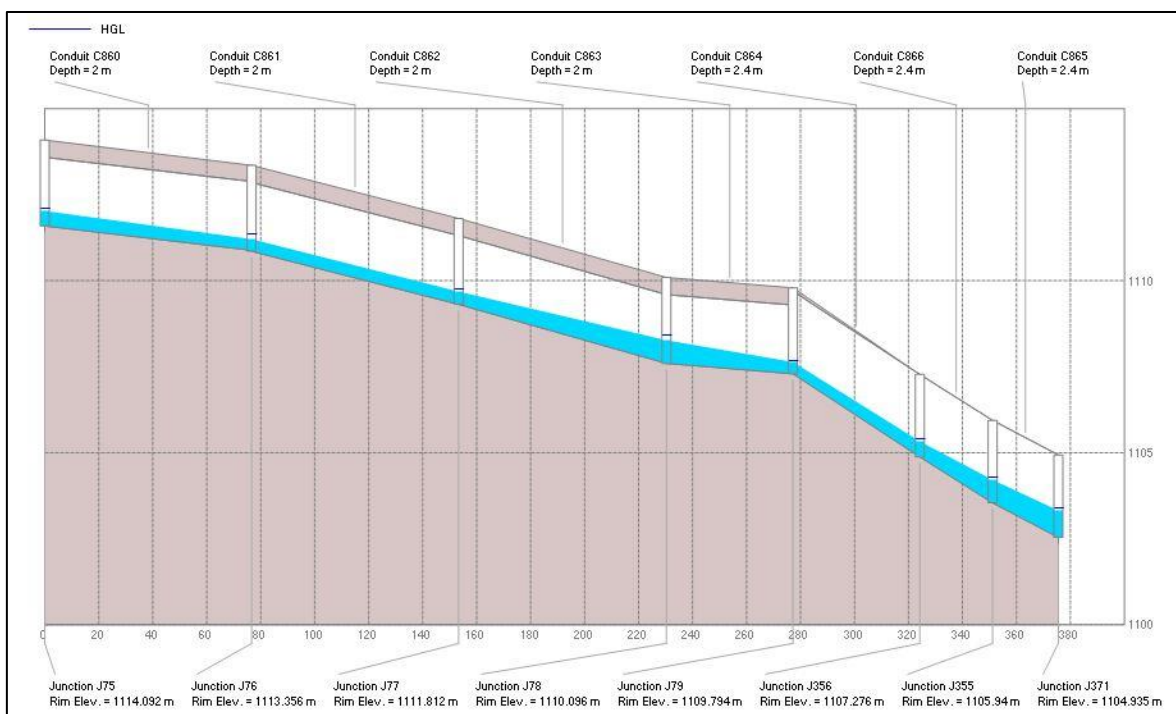


Figura 5.11 – Vazão máxima no conduto da saída para a bacia de detenção.

As Figuras 5.12 e 5.13 são referentes à análise de sólidos totais dissolvidos (SDT) na sub-bacia de estudo obtidos com SWMM. Elas retratam o perfil da concentração dos sólidos dissolvidos totais em conjunto com a vazão calculada pela modelagem. Este parâmetro foi escolhido por ter a melhor distribuição dos dados obtidos pelas estações.

Na Figura 5.12 a resposta da quantidade de sólidos acontece no primeiro pico da vazão e posteriormente ocorre uma variação ao longo do hidrograma até o decréscimo das concentrações em decorrência da redução de vazão. Na Figura 5.13 a concentração também ocorre no primeiro pico da vazão. Este fato é explicado pelo tempo que leva para os sólidos percorrerem os condutos até chegar à saída.

Neste perfil referente ao evento de chuva de 2015, é observada uma constância nos dados de sólidos. Este fato pode ser explicado pela irregularidade nos dados obtidos pelas estações. Os dados apresentaram vazios e falhas na mensuração das concentrações dos sólidos dissolvidos totais, que podem ter influenciado nos cálculos dos parâmetros C1 e C2 no Item 4.3.3.

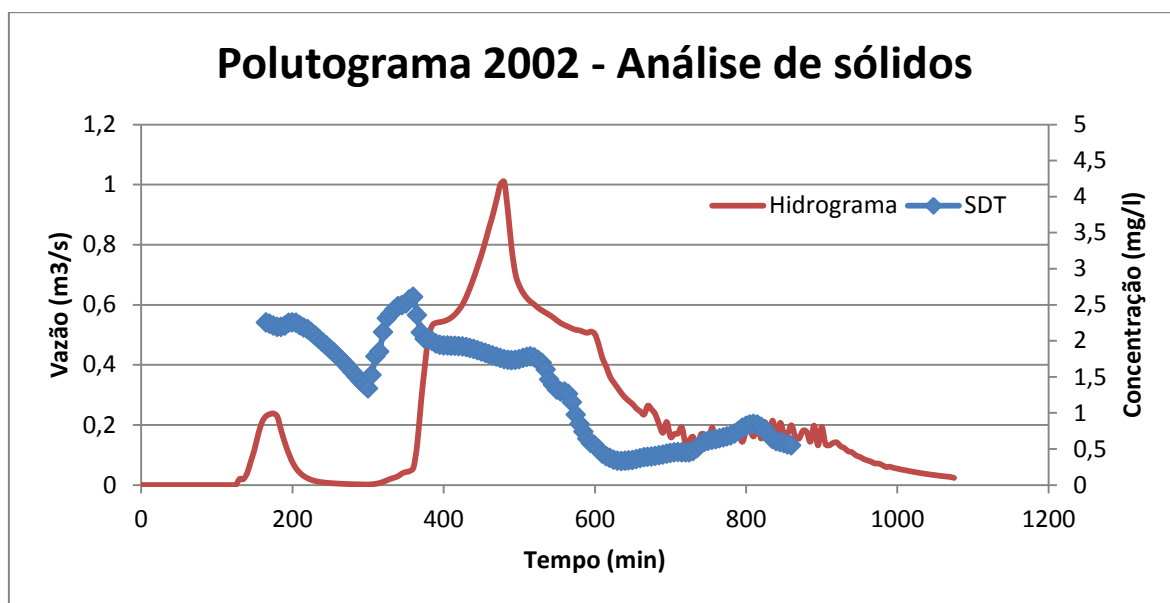


Figura 5.12 - Polutograma referente à análise de sólidos dissolvidos totais da sub-bacia Tamandú no evento de 2002

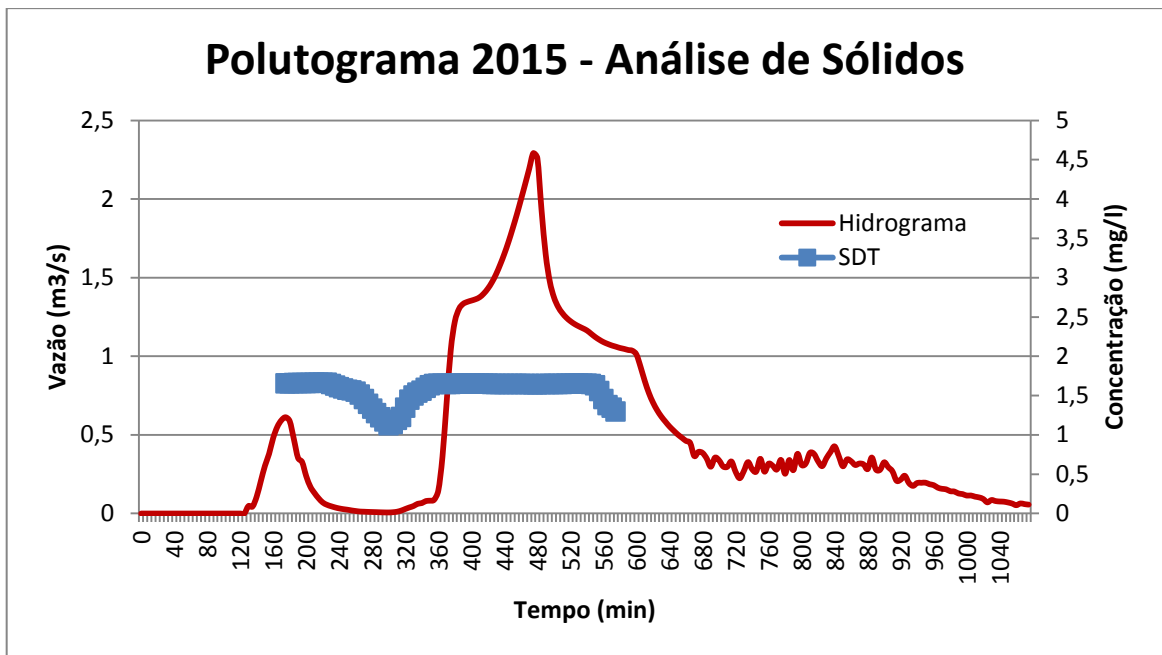


Figura 5.13 – Polutograma referente à análise de sólidos dissolvidos totais da sub-bacia Tamanduá no evento de 2015.

Os hidrogramas obtidos para cada cenário atingiram o objetivo geral proposto pelo presente estudo a partir da demonstração do impacto que a urbanização, refletida pelo empreendimento Paranoá Parque, exerce na sub-bacia do Tamanduá aumentando a vazão de pico na rede. Os polutogramas demonstraram o perfil de poluentes na sub-bacia a partir de um evento de precipitação real, atendendo aos objetivos específicos do plano de trabalho com relação à avaliação variação temporal das concentrações dos sólidos dissolvidos totais.

6. CONCLUSÕES

Baseado numa análise dos resultados obtidos foi possível correlacionar às formas de manejo de águas pluviais com fatores como uso e cobertura do solo, declividade, grupo hidrológico de solos e suas influências nas diferentes respostas do escoamento superficial presentes na sub-bacia do Córrego Tamanduá.

A urbanização conforme apresentado nos resultados é um fator que influencia majoritariamente na transformação do ciclo hidrológico da bacia hidrográfica da área de estudo, por intensificar o aumento o pico de vazão, já que o mesmo é influenciado pelas condições de baixa permeabilidade do solo. Os hidrogramas gerados atendem ao objetivo geral proposto no estudo a partir do realce do grande impacto da impermeabilização do terreno no escoamento de águas pluviais.

O modelo SWMM mostrou ser um sistema eficiente para análise de escoamento superficial da área de estudo, devido à boa resposta dos resultados diante uma baixa quantidade de parâmetros de entrada. Porém, para uma análise mais criteriosa e mais aproximada das condições reais é necessário a realização de uma calibração para uma maior confiabilidade do estudo.

A concentração dos SDT – Sólidos Dissolvidos Totais na condição de pré-urbanização pode ser explicada pela própria característica da região, que é composta por solos sedimentares, fontes de sedimentos alimentadores da bacia hidrográfica do Paranoá da qual faz parte a sub-bacia do Tamanduá.

Nesse sentido, o estudo mostra-se importante para o monitoramento de sólidos em uma bacia, devido à necessidade na análise de carga transportada, na prevenção de assoreamento de corpos hídricos e conhecimento de outros poluentes como os metais pesados, os elementos tóxicos, os coliformes, que geralmente estão associados com as partículas de sedimentos.

A partir da utilização do SWMM, foi possível descrever os perfis de polutogramas para o perfil de sólidos dissolvidos totais na sub-bacia Tamanduá, demonstrando uma noção da concentração de sólidos dissolvidos totais. Os resultados da concentração de sólidos atenderam aos objetivos específicos propostos no estudo diante a estimativa do perfil de concentração deste poluente na área de estudo a partir da modelagem, porém, verifica-se a importância de um processo de calibração na determinação dos níveis de sólidos na sub-

bacia, para o ajuste dos parâmetros C1 e C2 nos cálculos de acúmulo (build up) e carreamento dos poluentes (washoff), que foram determinados empiricamente a partir de uma metodologia aplicada em uma bacia com coleta dos dados de maneira uniforme.

Apesar do método empírico da determinação do parâmetro Curva-Número, este confere um importante fator na determinação da impermeabilização do solo e conseqüentemente, na avaliação do escoamento superficial em estudos de drenagem urbana, devido à facilidade de sua obtenção, com relação aos parâmetros utilizados nos Métodos Green-Ampt e Horton, e não comprometer de forma negativa o resultado final da modelagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS e PNUMA - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. (2011). *Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos*. Brasília-DF. 154 p.
- ALMEIDA, W. S.; SOUZA, N. M.; CARVALHO, J. Camapum. (2012). *Produção de carta geotécnica preliminar da capacidade de infiltração de água no solo em uma área do entorno do reservatório da usina hidrelétrica de Corumbá IV (GO)*. In: José Camapum de Carvalho; Gilson de Farias Neves Gitirana Junior; Eufrosina Terezinha Leão Carvalho. (Org.). *Tópicos sobre infiltração: teoria e prática aplicadas a solos tropicais*. 1ed. Brasília: Universidade de Brasília, v. 4, p. 581-606.
- ALMEIDA, W.S. (2014). Evaluation of unmanned aerial vehicles (UAV) high spatial resolution data to produce digital terrain model and visible spectral imagery. In: *South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics*, ISSN 2241-1224. Thessaloniki: Aristotle University of Thessaloniki, Greece. v. 3, p. 239-243.
- ALVAREZ. P. R. P. (2010). *Estudo experimental e teórico de qualidade da água de drenagem urbana com base ecohidrológica*. Dissertação de mestrado de Pós-graduação em Engenharia Hidráulica e de Saneamento. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. P376e.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. Hidro Web: sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br>. Acesso: maio de 2016
- ASCE - American Society of Civil Engineers (1992). *Design and Construction of Urban Stormwater Management Systems, ASCE – Manuals and Reports on Engineering Practice No. 77*. American Society of Civil Engineers and the Water Environment Federation. New York, NY. 2154p.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS/Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília: Funasa, 2014, 112p.
- BRASIL. Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA nº 357. Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu Enquadramento. Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63.
- CANHOLI, A. P. (2005). *Drenagem urbana e controle de enchentes*. São Paulo: Oficina de Textos, 384p.
- CHAUDHRY, M. H. (1993). *Open Channel Flow*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- CHOW, V. T. *Hydrology and its development*. In: CHOW, V. T. (org.) et alli (1964). *Handbook of Applied Hydrology*. New York: Mcgraw-Hill.
- CODEPLAN (2014). <http://ortofoto.mapa.codeplan.df.gov.br/demo/tms>. Mapa de ortofotos. Brasília, DF.
- COLLODEL, M. G. (2009). *Aplicação do modelo hidrológico SWMM na avaliação de diferentes níveis de detalhamento da bacia hidrográfica submetida ao processo de transformação chuva-vazão*. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 225p.

- CONCREMAT (2008). Plano Diretor de Drenagem Urbana do Distrito Federal. Brasília, Concremat Engenharia.
- COSTA, M.E.L (2013). *Monitoramento e modelagem das águas da drenagem urbana na bacia do lago Paranoá*. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-148/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 179p.
- CRÓSTA, A. P. (1992). *Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto*. São Paulo, 173P. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de Campinas.
- DISTRITO FEDERAL. Lei Complementar no 803, de 25 de Abril de 2009. Aprova a revisão do Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal - PDOT e dá outras providências. Brasília, 2009.
- DISTRITO FEDERAL. Lei Nº 3.877, de 26 de Junho de 2006. Dispões sobre a política habitacional do Distrito Federal. Câmara Legislativa do Distrito Federal. Brasília, 2006.
- EMBRAPA. (1978). *Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal*. Serviço Nacional de Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal. Embrapa-SNLCS. Boletim Técnico, 53. Rio de Janeiro, RJ. 455p.
- EPA. ENVIROMENT PROTECT AGENCY. Search: SWMM (Storm Water Management Model). Disponível em: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>. Acesso em: maio de 2016.
- FELGUEIRAS, C. A. (1987). *Desenvolvimento de um sistema de modelagem digital de terreno para microcomputadores*. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. Inpe – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, SP. 243p.
- FERNANDES, M. M, et al. (2011). *Influência do uso do solo na qualidade de água na microbacia Glória, Macaé, Rio de Janeiro*. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 2, p. 105-116.
- GRIGG, N. S. (1996). *Water resources management: principles, regulations, and cases*. New York: McGraw-Hill Book.
- ADAMI, M. et al. (2011). *Metodologia para delimitação da bacia hidrográfica de reservatórios hidrelétricos: aplicação ao reservatório de Itumbiara (GO)*. INPE. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, PR, Brasil, p.1349.
- LENHS - Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento – (2012). Manual e Programa do SWMM – Modelo de Gestão de Drenagem Urbana. Universidade Federal da Paraíba, UFPB, Brasil.
- LISBOA, J. F.; IOCHPE, C. (1996). *Introdução a Sistemas de Informações Geográficas com Ênfase em Banco de Dados*. XV JAI – Jornada de Atualização em Informática, XVI Congresso da SBC. Recife, PE., 53p.
- MAIDMENT, D.R. (1993). *GIS and hydrologic modeling*. In: Goodchild, M.F.; Parks, B.O.; Steyaert, L.T.; ed. Environmental modeling with GIS. New York, Oxford University Press, 1993. Cap. 14, p. 147-167

- McCUEN, R. H. (1998). *Hydrologic analysis and design*. Prentice Hall PTR.
- MINELLA, J.P.G.e MERTEN, G.H. (2006). — “Aplicação das Características químicas e físicas dos sedimentos na modelagem dos processos de emissão de sedimentos em bacias hidrográficas”. In: Poletto, C. e Merten, G.H (organizadores). Qualidade dos sedimentos. *ABRH*. 397 p.
- PDOT - Plano Diretor de Ordenamento Territorial do Distrito Federal. (2009). Lei Complementar nº 803, de 25 de abril de 2009. Brasília, Distrito Federal.
- PORTO, R.L.L. (1995). *Drenagem Urbana*. escoamento superficial direto. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). Porto Alegre: ABRH, Vol. 5, p.107-162. 1995.
- PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. da; BRANDÃO, V. dos S. (2004) *Escoamento Superficial*. Viçosa: UFV. 2. ed.
- QUEIROZ, M.M.F.; IOST, C.; GOMES, S.D.; VILAS BOAS, M.A. (2010) “Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural”. *Revista Verde, Mossoró*, v.5, n.4, p.200-210.
- RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. (2003) The shuttle radar topography mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, New York, v.57, n.4. p. 241-262.
- RIGHETTO, A. M. (2009) *Manual de Águas Pluviais Urbanas*. ABES. Rio de Janeiro. 396 p.
- RIGHETTO, A.M. (1998). *Hidrologia e recursos hídricos*. São Carlos: EESC/USP, 840 p.
- ROCHA, N. (2013). *Planejamento urbano da bacia do Córrego Samambaia (Goiânia-GO) utilizando o SWMM – Storm Water Management Model*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Goiás, Programa de Pesquisa de Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente. Goiânia,GO, 91p.
- ROSSMAN, L. A. (2010). *Storm water management model User’s manual Version 5.0*. Cincinnati: U. S. Environmental Protection Agency. 285 p.
- SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. (2005). Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p.05-18.
- SEDHAB. Secretaria de Habitação, Regularização e Desenvolvimento Urbano (2013). Governo do Distrito Federal. Diretrizes Urbanísticas para o Setor Habitacional Taquari – Etapa II. DIUR 05/2013. Governo do Distrito Federal – GDF.
- SEGETH – Secretaria de Estado de Gestão do Território e Habitação (2009). Plano Diretor do Ordenamento Territorial do Distrito Federal. Documento Técnico.
- SHINIMA, T. A. (2011). *Calibração multiobjetivo do SWMM aplicada à transformação chuva-vazão*. Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP. 136p.
- SILVA, D. D.; Pruski, F. F.; Schaefer, C. E. G. R.; Amorim, R. S. S.; Paiva, K. W. N (2005). *Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo utilizando simulador de chuva*. *Engenharia Agrícola*, v.25, n.2, p.409-419.

- SILVA, M. A. (2015). *Modelagem hidrológica e das perdas de solo: suas relações com as formas de relevo e uso do solo na Bacia do Rio Taperoá-PB*. Dissertação de Mestrado. Joao Pessoa, PB. 103p.
- SILVEIRA, A. L. L. (1993). *Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica*. In: TUCCI, Carlos Eduardo Morelli (org.) et all, Hidrologia. ABRH-USP. São Paulo - SP
- SOUZA, R. M. de; CRISPIM, D. Coelho.; FORMIGA, K. T. M. (2012). 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. Goiânia – GO. v.5, n.2, p.1-11
- TOPOCART, TERRACAP. (2012). *Estudo de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental – EIA/RIMA Paranoá Parque*. Governo do Distrito Federal – GDF. Brasília. 671 p.
- TUCCI, C. E. M. (2005). *Modelos Hidrológicos*. Porto Alegre: ABRH-UFRGS, 669p.
- TUCCI, C. E. M. (2007). *Inundações Urbanas*. ABRH-UFRGS, 15p.
- TUCCI, C. E. M. (2013). *Hidrologia Ciência e Aplicação*. 4 ed. UFRGS. Porto Alegre - RS. 943p.
- TUCCI, C., E., M., PORTO, R., L. (2000). “Urban Drainage in Specific Climates”. Vol. 1. Cap. 4 *International Hydrological Programme*.
- TUCCI, C.; MENDES, C. (2006). *Avaliação Ambiental Integrada de Bacias Hidrográficas*, MMA, Brasília, 2006, 302 p.
- VESCOVI, J., M. (2011). *Aplicação de dois modelos hidrológicos em uma pequena bacia rural do município de Joinville (SC)*. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC, 84p.
- VON SPERLING, M. (2005). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 452 p. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, Belo Horizonte – MG.