



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL**

**DEPARTAMENTO DE INFORMAÇÃO, AMBIENTE, SAÚDE E PRODUÇÃO
ALIMENTÍCIA**

CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

FRANCISCO DAS CHAGAS PAIVA SILVA

**DIAGNÓSTICO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ ZONA SUDESTE DE TERESINA**

TERESINA

2019

FRANCISCO DAS CHAGAS PAIVA SILVA

DIAGNÓSTICO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ ZONA SUDESTE DE TERESINA

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção do
diploma do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental
do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Piauí. Campus Teresina Central.

Orientador: Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes.
Coorientador: Prof. Esp. Daniel Silva Veras.

TERESINA

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Silva, Francisco das Chagas Paiva

S586d Diagnóstico do uso e ocupação do solo da microbacia hidrográfica do Riacho Itararé zona sudeste de Teresina / Francisco das Chagas Paiva Silva. - 2019.

95 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental)
- Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, 2019.

Orientador : Prof Dr. Érico Rodrigues
Gomes. Coorientador : Prof Esp. Daniel
Silva Veras.

1. Geoprocessamento. 2. Uso e ocupação do solo. 3. Modelos hidrológicos.
4. Gestão ambiental. I.Título.

CDD – 577

Elaborado por Sindya Santos Melo CRB 3/1085

FRANCISCO DAS CHAGAS PAIVA SILVA

DIAGNÓSTICO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA DO RIACHO ITARARÉ ZONA SUDESTE DE TERESINA

Trabalho de Conclusão de Curso (monografia)
apresentado como exigência parcial para obtenção do
diploma do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental
do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Piauí. Campus Teresina Central.

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Érico Rodrigues Gomes (Orientador)
Instituto Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Dr. Mauro César de Brito Sousa
Instituição Federal do Piauí (IFPI)

Prof. Prof. Dr. Paulo Borges da Cunha
Instituição Federal do Piauí (IFPI)

Aos meus pais por me apoiarem em
minhas decisões.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que me deu forças para continuar nesta jornada, aos meus pais Domingos Soares da Silva e Neide Ribeiro Paiva, a qual sempre me deu apoio, me incentivando a realizar meus sonhos, agradeço também a minha professora do ensino médio, Idi Borges, a qual me ajudou a ingressar no ensino superior.

Agradeço aos meus amigos e professores do IFPI do Campus Teresina Central, que me deram o apoio necessário para que eu chegasse até aqui.

Toda substância é como o mundo inteiro e como que um espelho de Deus
ou então de todo o universo, que ela expressa o seu modo particular.

Desse modo podemos dizer que o universo se multiplica tantas
vezes quantas são as substâncias e que a glória de

Deus se multiplica por igual,
graças a tantas representações
diversas de sua obra.

Guttfried W. Leibniz.

RESUMO

O presente trabalho tem como foco as questões ambientais envolvidas no uso e ocupação do solo, localizada em uma microbacia hidrográfica do município de Teresina, capital do Estado do Piauí. Este estudo se justifica pelo fato de que o crescimento acelerado da cidade nos últimos anos tem acarretado diversos transtornos relacionados às inundações, ocasionado diversos impactos socioambientais na região. Através desta problemática, este estudo objetivou-se na realização de um diagnóstico do uso e ocupação do solo e seus reflexos no escoamento superficial da microbacia hidrográfica do riacho Itararé, zona sudeste de Teresina-PI, podendo o mesmo ser usado como ferramenta de planejamento e gestão da área. Para a realização do estudo optou-se por um método de análise sistêmico, a qual considera que todos os elementos estão conectados. Segundo Lima (2016), a abordagem sistêmica ou geossistemas serve de embasamento especialmente para fins de planejamento territorial, e destaca a importância de se incluir as variáveis como o uso e ocupação do solo para o estudo dos sistemas naturais. A pesquisa é de natureza aplicada, com abordagem qualitativa envolvendo o tratamento de diversos dados tanto de cobertura do solo quanto dos processos necessários para o desenvolvimento do modelo hidrológico da bacia hidrográfica. Para a aquisição dos dados de uso e cobertura do solo foi utilizado o software de geoprocessamento QGis, uma poderosa ferramenta gratuita, e para a simulação hidrológica optou-se pelo método do SCS (*Soil Conservation Service*) disponível no software HEC-HMS. Com estes dois softwares e com o apoio de fórmulas empíricas foi possível relacionar a cobertura do solo com um nível de impermeabilização e seus reflexos na vazão de pico da bacia hidrográfica. Para a simulação, os tempos de recorrência escolhidos foram de 1, 2, 5, 10, 20 e 50 anos, sendo que para cada ano resultou-se nos seguintes valores de vazão: 46,1; 60,1; 83,5, 110, 137,1 e 180,5 m³/s. com estes dados tornou-se possível relacionar a cobertura do solo com o escoamento superficial da bacia hidrográfica e posteriormente os efeitos da urbanização na vazão de pico e suas possíveis soluções, cabendo neste caso ao poder público a articulação de novas medidas de mitigação, como por exemplo a aplicação das normas vigentes. Concluímos, por fim, que o uso e ocupação do solo atualmente pode contribuir bastante para o aumento da vazão de pico da bacia hidrográfica de estudo, mas poderá ser reduzida consideravelmente se as medidas propostas na legislação e neste estudo forem postas em prática pelos gestores municipais.

Palavras-chave: Geoprocessamento. Uso e ocupação do Solo. Modelos Hidrológicos. Gestão Ambiental.

ABSTRACT

The present study focuses on the environmental issues involved in the use and occupation of the soil, located in a watershed of the municipality of Teresina, capital of the State of Piauí. This study is justified by the fact that the accelerated growth of the city in the last years has caused several disorders related to the floods, caused several social and environmental impacts in the region. Through this problem, this study aimed to perform a diagnosis of the use and occupation of the soil and its reflections on the surface drainage of the Itararé stream watershed in the southeast of Teresina-PI and can be used as a planning and management tool of the area. According to Lima, (2016) the systemic approach or geosystems serves as a basis for territorial planning purposes and stresses the importance of to include variables such as land use and occupation for the study of natural systems. It is of an applied nature, with a qualitative approach involving the treatment of several soil cover data and the necessary processes for the hydrological model of the hydrographic basin. In order to acquire the land use and land cover data, we used the QGIS geoprocessing software, a powerful free tool, and the hydrological simulation was chosen using the Soil Conservation Service (SCS) method available in the HEC-HMS software. With these two softwares and with the support of empirical formulas, it was possible to relate the soil cover with a waterproofing level and its reflections in the peak flow of the river basin. For the simulation, the recurrence times chosen were 1, 2, 5, 10, 20 and 50 years, and for each year the following flow values were obtained: 46.1; 60.1; 83.5, 110, 137.1 and 180.5 m³ / s. with these data it became possible to relate the soil cover to the surface runoff of the hydrographic basin and later the effects of urbanization on the peak flow and its possible solutions, being in this case the public power the articulation of new mitigation measures, such as for example the application of existing standards. Finally, we conclude that land use and occupation can contribute significantly to the increase in the peak flow of the study watershed, but it can be greatly reduced if the measures proposed in both the legislation and in this study are put into practice by the managers of the municipality , certain that, in the same way, it can also increase a lot if they are not put into practice, thus causing several socio-environmental damages in the area.

Keywords: Geoprocessing. Use and occupation of Soil. Hydrological Models. Environmental management.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Os 15 países com risco de inundações de 80%	21
Figura 2	Representação do ciclo hidrológico	22
Figura 3	Representação da infiltração	23
Figura 4	Representação de uma bacia hidrográfica	24
Figura 5	Mapa de identificação das Sub-bacias hidrográficas da Cidade de Teresina	28
Figura 6	Alagamento na Av. Joaquim Nelson	29
Figura 7	Imagem do alagamento na BR 343 em Teresina-PI	29
Figura 8	Representação da vazão em superfície natural e urbanizada	30
Figura 9	Reservatório de retenção de múltiplos usos	35
Figura 10	Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas	41
Figura 11	Hietograma de 60 minutos pelo método dos blocos alternados	45
Figura 12	Ilustração do tempo de Concentração	45
Figura 13	Evolução da População Urbana e Rural de Teresina. Período: 1940/2010	49
Figura 14	Mapa de identificação de Teresina-PI	50
Figura 15	Identificação das três macrobacias de Teresina	51
Figura 16	Mapa de Identificação da Microbacia de Estudo	53
Figura 17	Distribuição pluviométrica no ano de 2018	54
Figura 18	Fluxograma do processo de tratamento e delimitação de Bacias Hidrográficas no QGIS Versão 2.18.1.	56
Figura 19	Imagem da interfase do georreferenciado e precisão do georreferenciamento	57
Figura 20	Ferramenta complementa do QGIS Semi-Automatic Classification Plugin	58
Figura 21	fluxograma dos parâmetros disponíveis para a simulação no HEC-HMS	59
Gráfico 1	Cobertura da Bacia por km ²	62
Figura 22	Mapa de uso e ocupação do solo	63
Figura 23	Mapa com a delimitação das 10 (Dez) sub-bacias hidrográficas	66
Figura 24	Hidrograma encontrado para o Tr de 10 anos	69
Figura 25	Hidrograma encontrado com o Tr 20 anos	70
Figura 26	Hidrograma encontrado com o Tr 50 anos	71
Gráfico 2	Vazão de pico encontradas para os tempos de Tr 1, 2, 5, 10, 20 e 50	72
Gráfico 3	Resultados da modelagem para cobertura com vegetação nativa	72
Gráfico 4	Comparação entre vazão de pico para um cenário de superfície com vegetação nativa preservada e cenário atual	73
Figura 27	Ponto de vulnerabilidade a alagamento na BR 343	74
Figura 28	Ponto vulnerável a alagamento entre o condomínio Mirante do Lago e Pousada Gurupi	74
Figura 29	Alagamento na BR 343 próximos ao condomínio Mirante do Lago e Pousada Gurupi	75
Figura 30	Condomínio ALDEBARAM LESTE	75
Figura 31	Foto do bueiro encontrado no condomínio ALDEBARAM LESTE	76
Figura 32	Foto da lagoa de retenção/detenção do condomínio ALDEBARAM LESTE	76
Figura 33	Foto da rua escavada no Bairro Verde Lar	77
Figura 34	Sistema de contenção / detenção de água	78
Figura 35	Trecho da rua 4 totalmente alagada no Bairro Uruguai	78
Figura 36	Foto do leito do riacho e do lado direito resíduos oriundos da construção civil	79
Figura 37	Foto do bueiro parcialmente entupido	80
Figura 38	Foto demonstrativa da erosão no condomínio Villa Imperial	80
Figura 39	Foto da construção do sistema de dissipador de vazão	81
Figura 40	Trecho da rua Mirtis Melão com identificação da área com interferência antrópico	81

Figura 41	Foto de parte do bueiro encontrado na Av. Joaquim Nelson	82
Figura 42	Trecho da Av. Joaquim Nelson totalmente inundado	83
Figura 43	Foto ilustrando ponto de rompimento da BR 343	84
Figura 44	Vista aere do bairro Recanto das Palmeiras	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Formulas para identificar o tempo de concentração	45
Tabela 2	- Conversão entre os tipos de solos da Classificação Brasileira e os tipos de Solos definidos pelos grupos do SCS (Adaptado de Sartori <i>et al.</i> , 2006)	59
Tabela 3	- Dados de cobertura espacial das 4 (quatro) classes	61
Tabela 4	- Especificação dos CN para cada bacia hidrográficas	63
Tabela 5	- Dados físicos da bacia Hidrográfica	64
Tabela 6	- Dados de precipitação para o programa HEC-HMS	67
Tabela 7	- Vazão máxima pelo método SCS	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PMT	Prefeitura Municipal de Teresina
PMPA	Prefeitura Municipal de Porto Alegre
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFPI	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí
UFPI	Universidade Federal do Piauí
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
PDDUT	Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2.1 Objetivo Geral	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1 Processo Histórico da Urbanização	19
3.2 Ciclo Hidrológico e Bacias Hidrográficas.....	21
3.3 Os Reflexos da Urbanização no Ciclo Hidrológico	22
3.4 Vegetação e Solo	24
3.4.1 Vegetação	24
3.4.2 Solo	25
3.5 Planejamento e Gestão Ambiental da Cidade de Teresina	30
3.5.1 Plano Diretor	30
3.5.2 Plano de Drenagem Urbana de Teresina (Pddru).....	31
3.6 Bacia Hidrográfica como Sistema de Gestão Contra as Inundações.....	32
3.6.1 Medidas Estruturais.....	33
3.6.2 Medidas extensiva	33
3.6.3 Medidas Intensivas	34
3.6.4 Medidas não-estruturais	34
3.7 A TEORIA DOS SISTEMAS E AS GEOTECNOLOGIAS COMO FERRAMENTA DE ESTUDO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS	36
3.7.1 Modelagem Hidrológica.....	38
3.7.2 Chuva de Projeto	41
3.7.3 Distribuição Temporal de Precipitação	42
3.7.4 Tempo de Concentração	44
4 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS.....	47
4.1 Caracterização da Área de Estudo.....	47
4.2 Bacia Hidrográfica de Estudo	49
4.3 Clima	53
4.4 Solos	53
4.6 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	54
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
5.1 Caracterização da Cobertura da Bacia Hidrográfica	61
5.2 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA	66

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	86
APÊNDICE	94

1 INTRODUÇÃO

A expansão urbana em Teresina-PI, sem distinção de poderes, seja eles público ou privados, tem sido desordenada e inadequada. Isso se deve a diversos fatores como: ocupações irregulares, loteamentos mal projetados, mas, principalmente, à ineficácia do planejamento, da fiscalização, do acompanhamento e do controle pelos órgãos públicos, fatores estes de maior impacto no processo de formação das áreas de risco de alagamento e inundações, resultando em perdas e danos sociais e econômicos (COSTA, et al 2011).

Com o desmatamento e o aumento de áreas construídas de forma inadequada, cria-se um ambiente totalmente modificado, no entanto, o mesmo não perde sua ligação com o ambiente natural, mas torna-se vulnerável a diversos comportamentos dos ecossistemas. Um exemplo forte está no ciclo hidrológico, pois quando há intervenções antrópicas no solo para a expansão urbana sem planejamento, dar-se início a inundações e alagamentos, que representam um dos principais tipos de desastres naturais que afligem as cidades nos períodos de chuva em diferentes partes do planeta, seja em áreas rurais ou urbanas. Podendo haver nos dois processos perdas de vidas e degradação do meio ambiente.

Quando chegam os períodos de chuva em Teresina várias áreas são afetadas por alagamentos, um exemplo desta ocorrência está na zona leste, onde a estrutura urbana foi ganhando forma em áreas de várzea. Desta forma, considerando a expansão urbana de Teresina nos últimos anos, torna-se perceptível que a área deste estudo está sendo bastante alterada.

Por consequência dessa mudança nas bacias hidrográficas de Teresina, as populações que residem próximas aos exutórios, torna-se mais vulneráveis às inundações decorrentes das diferentes atividades a montante, como por exemplo, riscos de doenças infectocontagiosas e prejuízos financeiros.

Levando em consideração as constantes modificações nas microbacias hidrográficas do município pelas atividades antrópicas, esse estudo tem como objetivo realizar um diagnóstico do uso e ocupação do solo e seus reflexos no escoamento superficial da microbacia hidrográfica do riacho Itararé, localizada na zona sudeste de Teresina, podendo o mesmo ser usado como ferramenta de planejamento e gestão da área. O planejamento da região é de grande importância para o desenvolvimento local, sendo uma forma de proporcionar qualidade de vida para os moradores e qualidade ambiental, destacando também que, em algumas partes o riacho Itararé apresenta perenidade, ou seja, há água em todo o período do

ano, classificando como sendo obrigatório a criação de Área de Preservação Permanente (APP). É uma área que ainda apresenta vegetação nativa, sendo a mesma fundamental para a dinâmica ambiental existente na região, segundo a lei de Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que constitui a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), em seu Art. 3º que constitui as diretrizes gerais de ação para implementação da PNRH, em seu inciso III, prevê a integração da gestão de recursos hídricos com a gestão ambiental, possibilitando uma visão multidisciplinar que por consequência possibilita uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos.

Para a realização deste estudo será adotado um método de análise sistêmico, a qual considera que todos os elementos estão conectados e que “A ação de um sub-sistema pode provocar uma reação em outro sub-sistema, direta ou indiretamente que por sua vez recebe influência de outro sub-sistema de seus elementos ou de outro elemento” (FLAMARION, 2008, p.128). No que se refere ao procedimento metodológico, primeiramente, buscou-se bibliografias referentes ao tema de estudo: dissertações, artigos científicos, livros e outros, tendo como foco os principais pontos “bacias hidrográficas, controle de inundações e simulações hidrológicas”, no intuito de obter uma base teórica para a realização do estudo. Posteriormente a microbacia de interesse foi delimitada utilizando o software de geoprocessamento QGis, sendo processado no mesmo, imagens georreferenciadas como raster MDE para modelagem da superfície terrestre. E finalmente, uma modelagem hidrológica com o software HEC-HMS foi realizada com o objetivo de relacionar o uso e ocupação do solo com uma determinada vazão de pico.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Realizar um diagnóstico do uso e ocupação do solo da microbacia hidrográfica do riacho Itararé, zona sudeste de Teresina, para ser usado como ferramenta de planejamento e gestão da área.

2.2 Objetivos Específicos

- Delimitar a microbacia;
- Mapear os diferentes usos do solo na área de estudo;
- Realizar uma modelagem hidrológica de acordo com os dados de uso e ocupação do solo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Processo Histórico da Urbanização

Os primeiros registros históricos da formação das cidades tinham em comum a origem perto de rios e lagos, que proporcionava o abastecimento da população e a circulação do comércio. Lima (2016) relata que “Desde o estabelecimento das primeiras civilizações, a relação rio-cidade tem se revelado como primordial, sendo a disponibilidade de água um dos principais fatores para a localização definitiva das comunidades humanas”. Segundo Tucci (2005):

O desenvolvimento histórico da utilização de áreas livres explica os condicionamentos urbanos hoje existentes. Por causa da grande dificuldade de meios de transporte no passado, utilizava-se o rio como a via principal. As cidades desenvolveram-se às margens dos rios ou no litoral. Pela própria experiência dos antigos moradores, a população procurou habitar as zonas mais altas, aonde o rio dificilmente chegaria (TUCCI, 2005, p.43).

Tucci (2005) também relata que:

[...] o crescimento desordenado e acelerado das cidades, principalmente na segunda metade do século 20, as áreas de risco considerável, como as várzeas inundáveis, foram ocupadas, trazendo, como consequência, prejuízos humanos e materiais de grande monta resultantes das inundações subsequentes.

Outro fator também importante foi o êxodo rural, que resulta da centralização do comércio, indústrias e a falta de recursos socioeconômicos nas zonas rurais para a população se sustentar, refletindo no crescimento urbano desordenado. De acordo com Costa (2011):

O processo de urbanização que ocorre no país reforça o modelo "centro-periferia", fazendo com que os problemas nas cidades sejam semelhantes aos das áreas suburbanas ou periféricas, variando em níveis e escalas, pois à medida que as cidades se expandem territorialmente (no sentido horizontal), intensificam-se os problemas das mais diversas naturezas- a falta de emprego, o déficit habitacional, a carência de transportes, a baixa oferta de lazer, a pouca abrangência da rede de água e esgoto, a educação de má qualidade, a saúde precária [...] (COSTA, 2011, p.32).

Havendo a necessidade de encontrar moradia a população passou a morar em locais inadequados como morros, encostas, planície de inundação e outros. Com isso passou a ocorrer várias perdas socioambientais decorrentes das alterações no ambiente circunvizinho. Lombardo (2003) relata que:

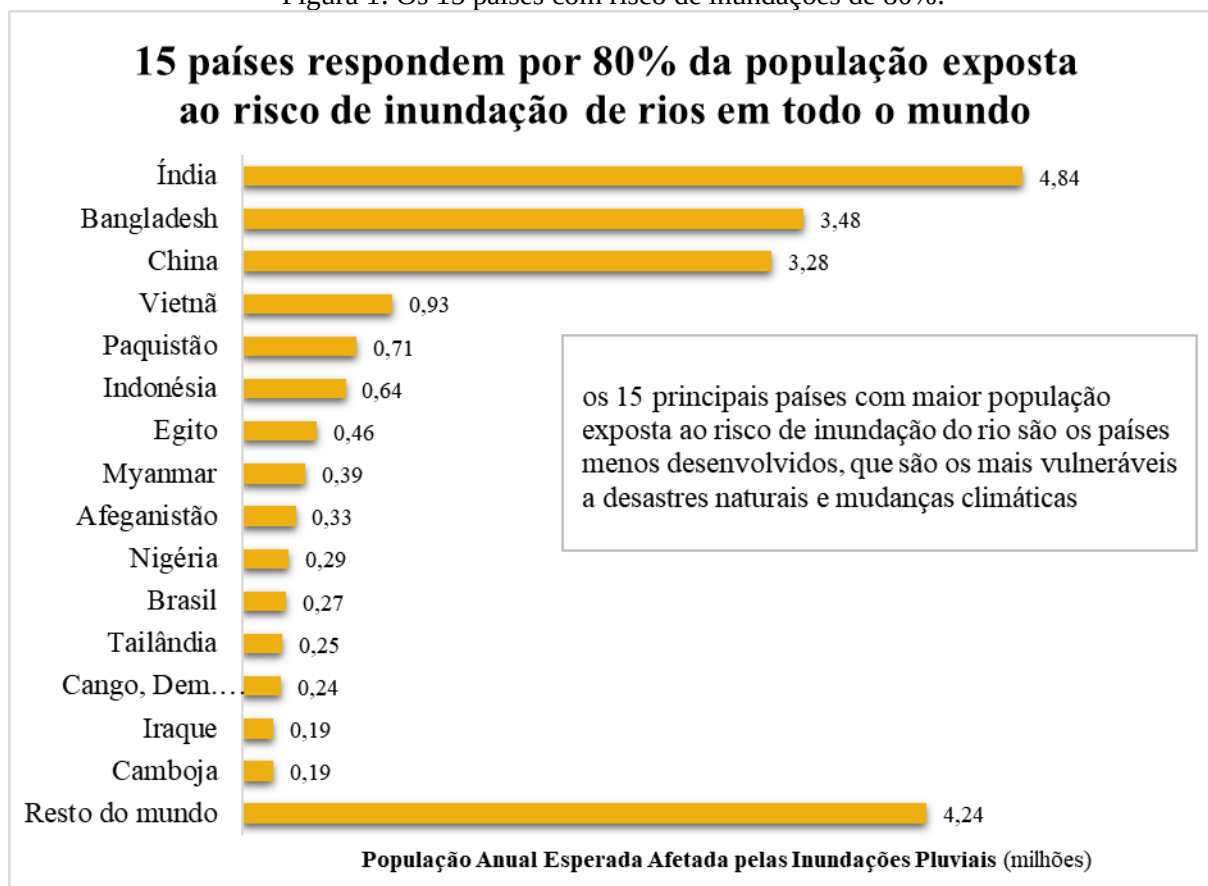
As cidades entendidas como um espaço natural que foi ocupado pelo homem que o alterou, construindo ali um equipamento urbano e onde realiza suas funções, não perdem, por isso, o contato com meio circundante, nele interferindo e sendo por ele alteradas (LOMBARDO, 2003, p. 459).

A modificação da estrutura física do solo no ambiente urbano através de compactação, impermeabilização e modificação de canais pluviais tem acarretado sérios prejuízos financeiros para as populações do meio urbano. A maioria desses acontecimentos é por falta de planejamento das cidades, já que são de pleno conhecimento dos gestores (TUCCI, 2008).

Desde seus primórdios as populações já sofriam com problemas de alagamento nas cidades por causa de sua aproximação dos grandes rios, e por consequência as populações buscavam locais de maior altitude para fazer suas residências, um exemplo está destacado na igreja católica que sempre construía os templos em locais altos para evitar possíveis eventos climáticos, com esse conhecimento adquirido do comportamento dos rios, proporcionou a tomada de decisão sobre o planejamento das cidades em países hoje desenvolvido, no entanto, países subdesenvolvido ainda estão sofrendo muito com os desastres naturais, por falta de planejamento territorial.

De acordo com o **Aqueduct Global Flood Analyzer**, uma nova ferramenta online, que quantifica e gera visualizações dos riscos globais de inundações, tanto atuais quanto estimados: Foram classificados 164 países de acordo com o número de pessoas afetadas por enchentes causadas pelas cheias dos rios, o que mostrou que os 15 primeiros países nessa lista abrigam 80% do total da população afetada anualmente em todo o mundo. Esses países estão todos entre os considerados menos desenvolvidos ou em desenvolvimento (Figura 1). Aproximadamente 167 mil pessoas são afetadas nos Estados Unidos, país que ocupa a posição mais alta entre os desenvolvidos (LUO, 2015).

Figura 1: Os 15 países com risco de inundações de 80%.



Fonte: Traduzido de Luo (2015).

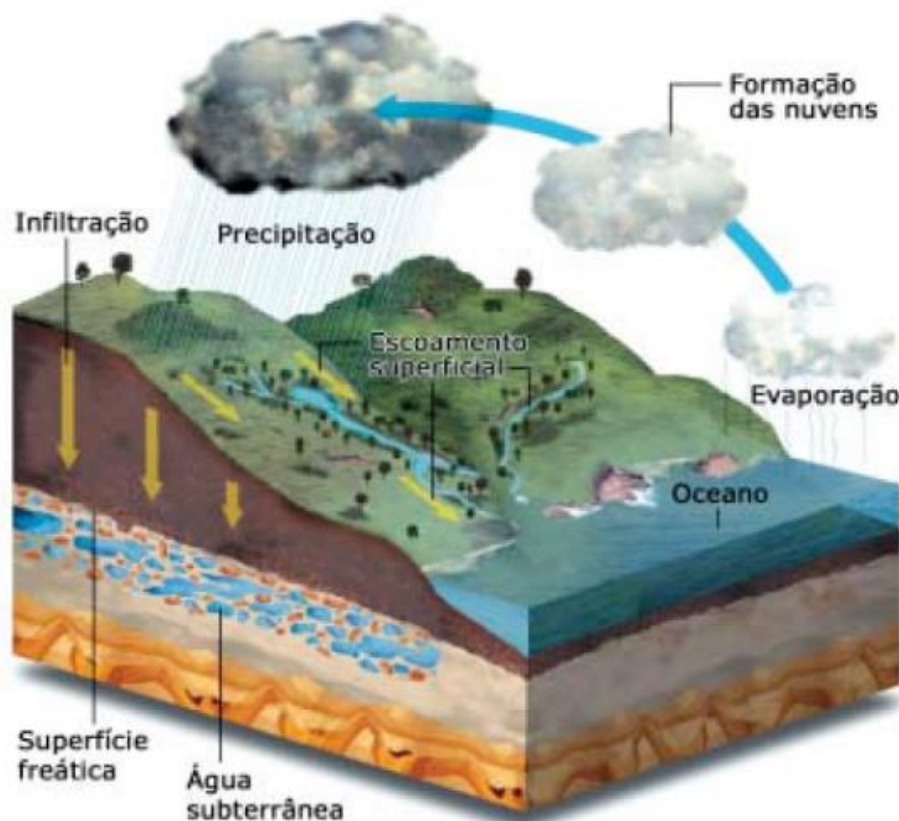
3.2 Ciclo Hidrológico e Bacias Hidrográficas

O ciclo hidrológico é tido como um fenômeno global e com circulação fechada, sendo o mesmo impulsionado pelas relações de energia solar e gravidade como pode ser visto na (figura 2).

Segundo Rezende (2010):

Essa circulação acontece em diversos sentidos, sendo de grande importância as trocas verticais entre a superfície terrestre e a atmosfera. O transporte da água no sentido superfície terrestre → atmosfera acontece principalmente através dos fenômenos de evapotranspiração, sendo o inverso, atmosfera → superfície terrestre, ocorrendo em qualquer estado físico da água, sendo mais significativos os transportes decorrentes de precipitações, tanto como chuva quanto como neve (Rezende, 2010, p.5).

Figura 2: Representação do ciclo hidrológico



Fonte: FEAM, 2006.

A preservação do ciclo hidrológico se torna fundamental para manter o equilíbrio entre os ecossistemas. O funcionamento equilibrado do ciclo hidrológico depende de como é a preservação dos diferentes fatores que permite o mesmo funcionar, pois todos os processos são essências para determinado meio, como por exemplo a infiltração que, de acordo com Clossi (2013):

Esse processo permite o acúmulo de água subterrânea, que abastece os poços e dá origem às nascentes ou fontes, e que contribui para a alimentação da maioria dos cursos d'água. Em menor escala a infiltração permite reduzir a ação da erosão no solo e das inundações (CLIOSSI, 2013).

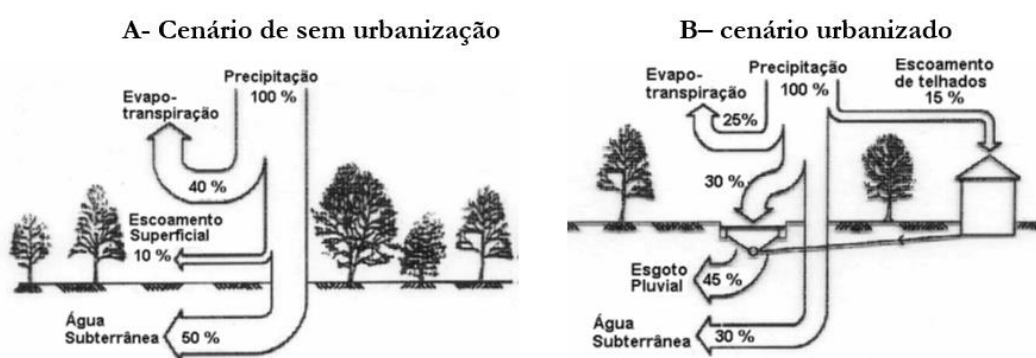
3.3 Os Reflexos da Urbanização no Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico em condições naturais é tido como um sistema equilibrado, no entanto a expansão urbana geralmente está vinculada a substituição do ambiente natural por ambiente artificial, destacando nessa expansão o desmatamento, impermeabilização e terraplanagem. (Tucci, 2005, p.88) relata que “o volume que escoava lentamente pela

superfície do solo [...], pelos efeitos da urbanização, passa a escoar através de superfícies impermeáveis, condutos e canais, exigindo maior capacidade de escoamento[...]” como pode ser visto nos cenários A e B da (figura 3), de acordo com o mesmo autor “As vazões máximas também aumentam, antecipando seus picos no tempo” (Tucci, 2005, p.89). E as médias de inundações pode aumentar de seis a sete vezes.

A urbanização interfere diretamente no ciclo hidrológico, que por consequência traz sérios prejuízos para a qualidade de vida das populações, principalmente pelo aumento do índice de inundações, acarretando, geralmente, alterações nas características física, químicas e biológica das bacias hidrográficas.

Figura 3: Representação da infiltração.



Fonte: Tucci, 2005.

A bacia hidrográfica é representada por toda a área que propicia uma drenagem de água de chuva para um único canal, também chamado de canal principal ou talvegue, os limites das bacias é a parte mais alta do relevo, também conhecida como divisor de águas.

De acordo com a CPRM (2017) uma bacia hidrográfica é composta por toda a área de captação natural da água de chuva que proporciona escoamento superficial para o canal principal e seus afluentes, (figura 4). O limite superior de uma bacia hidrográfica é o divisor de águas e a delimitação inferior é a saída da bacia, também conhecida como exutório.

Figura 4: Representação de uma bacia hidrográfica.



Fonte: CPRM, 2017.

3.4 Vegetação e Solo

3.4.1 Vegetação

A vegetação é essencial para se manter a dinâmica do ciclo hidrológico, e possibilita certos controles em alguns parâmetros, como por exemplo, Cliossi, (2013) destaca que “nas áreas de vegetação densa, do tipo mata ou floresta, ocorre um favorecimento da infiltração, em virtude da retenção da água pelas folhas e ramos das árvores, impedindo, assim, o escoamento imediato, e permitindo uma infiltração lenta e eficiente”, ocorrendo assim a diminuição da vazão de pico.

Balbinot et al. (2008) destaca as às inúmeras funções dos ecossistemas florestais, segundo ele:

Os ecossistemas florestais, constituídos por parte aérea (árvores) e parte terrestre (solos florestais), desempenham inúmeras funções: (1) mitigação do clima (temperatura e umidade); (2) diminuição do pico do hidrograma (redução de enchentes e recarga para os rios); (3) controle de erosão; (4) melhoramento da qualidade da água no solo e no rio; (5) atenuação da poluição atmosférica; (6) fornecimento do oxigênio (O₂) e absorção do gás O₂ carbônico (CO₂), (7) prevenção contra O₂ ação do vento e ruídos, (8) recreação e educação; (9) produção de biomassa e (10) fornecimento de energia (BALBINOT et al., 2008, p.135).

Segundo o mesmo autor todas as funções são exercidas ao mesmo tempo baseando-se na própria dinâmica da floresta (BALBINOT et al., 2008, p.135).

(BALBINOT et al., 2008, p.135). destaca também que:

A cobertura florestal, através da interceptação, influencia a redistribuição da água da chuva, em que as copas das árvores formam um sistema de amortecimento, direcionamento e retenção das gotas que chegam ao solo, afetando a dinâmica do escoamento superficial e o processo de infiltração.

Desse modo, o abastecimento das águas é favorecido e a variação de vazão ao longo do ano, reduzida, além do retardamento dos picos de cheia (BALBINOT et al., 2008, p.136).

Fortalecendo os destaques de (BALBINOT et al., 2008), (TAMBOSI et al., 2015) destaca também que, além das funções já citadas a vegetação pode também funcionar como sistema auxiliar entre todos os elementos eco-hidrológicos. (DUARTE et al., 2009) enfatiza que “a presença ou ausência da cobertura vegetal em uma bacia hidrográfica influencia a qualidade e a quantidade da água, pois interfere na conservação dos solos e suas propriedades físicas, que são fatores determinantes na intensidade e no tipo do escoamento”.

3.4.2 Solo

Após a vegetação exceder sua capacidade máxima de retenção da água de chuva a mesma passa para o solo, sendo o mesmo um importante componente dos ecossistemas que não pode ser deixado de lado, sua porosidade, resistência a erosão, nível de impermeabilização, tem que ser levado em consideração quando o assunto é drenagem. Segundo (BALBINOT et al., 2008) a maior parte da água fica temporariamente retida no solo próximo de onde caiu e posteriormente volta para à atmosfera por evaporação ou transpiração das plantas.

Quando as gotículas de chuva se chocam com o solo ocorre a compactação da superfície, esse processo de acordo (PANACHUKI et al., 2011) diminui a porosidade da superfície.

Panachuki et al. (2011) os diferentes processos de manejo do solo influenciam fortemente a erosão hídrica das áreas cultivadas, alterando o relevo e a cobertura vegetal, ocasionando a exposição da superfície do solo à ação da chuva e da enxurrada. Segundo (PANACHUKI et al., 2011) tanto o impacto das gotas de chuva quanto a ação cisalhante da enxurrada trazem modificações para as características físicas do solo, como a rugosidade e a porosidade.

3.5 Bacias Hidrográficas de Teresina

Teresina como toda cidade em constante crescimento, tem sofrido bastante com inundações e alagamentos, decorrente do mau uso do solo, não considerando a drenagem natural da região, e em outros casos a ocupação em locais que não apresentam confiabilidade para se fazer moradias, toda via, com a crescente expansão desta cidade, as populações menos desfavorecidas tendem a busca esses tipos de áreas para fazer suas casas, (TUCCI, 2008) afirma que:

O crescimento urbano ocorrido nas últimas décadas transformou o Brasil num país essencialmente urbano (83% de população urbana). Esse processo se deu especialmente nas Regiões Metropolitanas (RM) e nas cidades que se transformaram em pólos regionais. As RM possuem um núcleo principal com várias cidades circunvizinhas. A taxa de crescimento do núcleo da RM é pequena, enquanto o crescimento da periferia é muito alto (TUCCI, 2008, p.98).

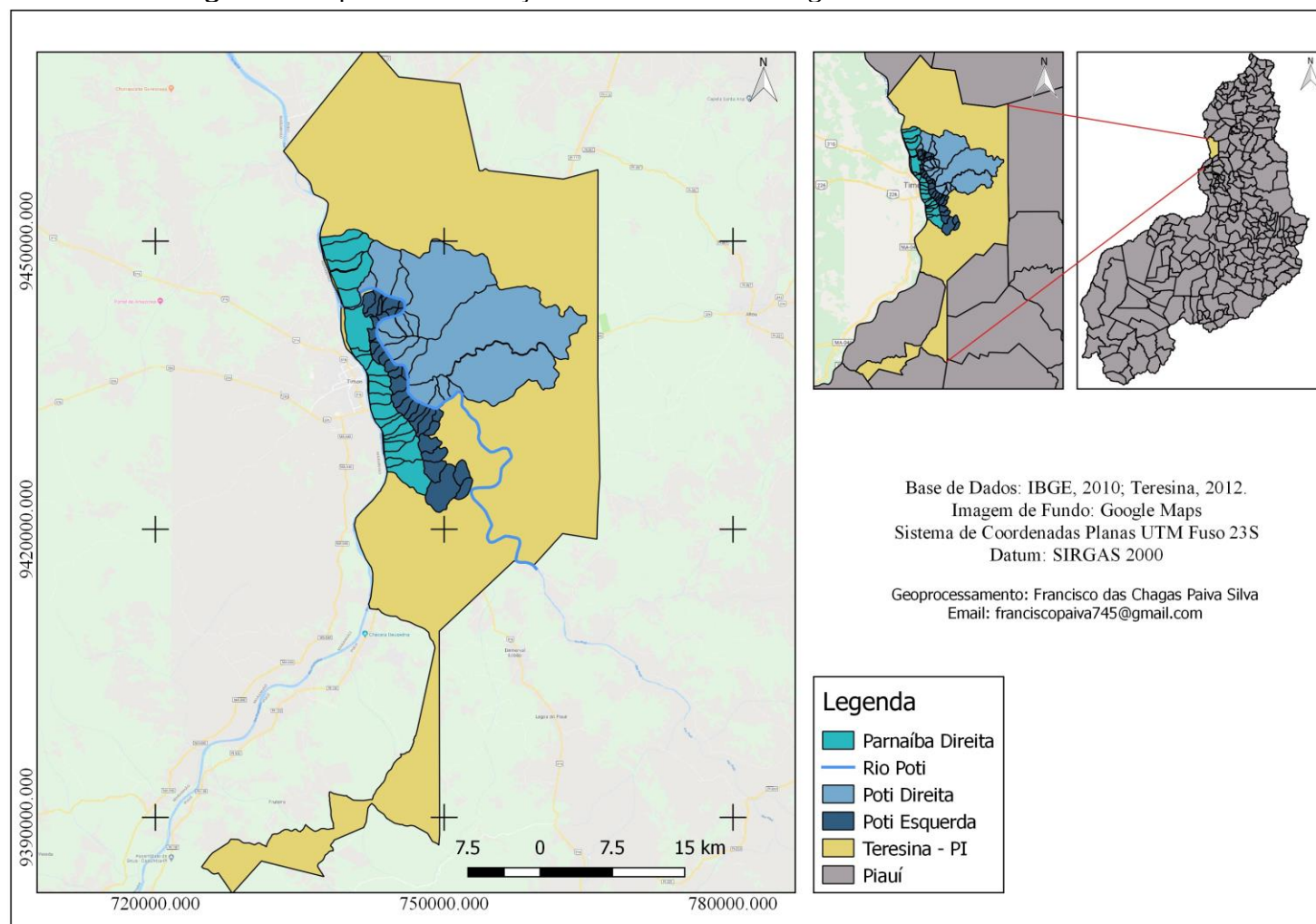
Em Teresina esse processo de expansão tem ganhado força nas zonas Leste, Sul e Sudeste principalmente por causa do processo de descentralização do centro da cidade. Outro fator que proporcionou o crescimento horizontal da área urbana foram as pressões do mercado imobiliário, que provocou um processo de contínua expansão do perímetro urbano até o ano de 2015 (TERESINA, 2017). Entre os interesses do mercado imobiliário destaca-se a “[...] realização de condomínios de maior porte, explorando como atributo comercial, a paisagem e a tranquilidade da zona periurbana” (TERESINA, 2017).

Toda essa modificação estrutural tem proporcionado sérios prejuízos para a população, já que Teresina está situada entre dois rios, e os mesmos possui diversos afluentes na área urbana do município como pode ser visto na (figura 5).

Lima (2011) relata que:

[...] rios/riachos afluentes do Paraíba e do Poti apresentam pequena extensão tendo, em sua maioria, suas nascentes dentro do próprio município. Vários deles deságuam na área urbana e são canalizados em galerias pluviais, para onde convergem também muitos esgotos residenciais de áreas não contempladas com o esgotamento sanitário dessa Capital. Este fato provoca problemas socioambientais, como inundações e isolamento de ruas por forte erosão/desabamentos na pavimentação urbana, principalmente nos anos de ocorrência de maiores índices pluviométricos. Destaque-se que, com a expansão da cidade, muitas lagoas formadas nos terraços desses rios vão sendo aterradas para uso urbano, agravando os problemas sanitários e habitacionais da população (LIMA, 2011, p.1).

Figura 5: Mapa de identificação das Sub-bacias hidrográficas da Cidade de Teresina.



Fonte: Autor (2019).

Como supracitado, as pequenas bacias de Teresina não contam mais com seus córregos naturais, no entanto a tendência da água é seguir seu curso natural, e em períodos de chuvas a mesma passa com vazão que muitas vezes pode levar muros e carros (Figuras 6 e 7). Segundo Tucci (2008) as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude em razão da compactação e impermeabilização do solo, em alguns casos poderá ser também pela retificação dos riachos e córregos, diminuindo o tempo de concentração da água na bacia. Na (figura 8) observa-se a relação entre impermeabilização e vazão e também a diminuição do tempo de concentração, em comparação com a superfície natural.

Figura 6: Alagamento na Av. Joaquim Nelson.



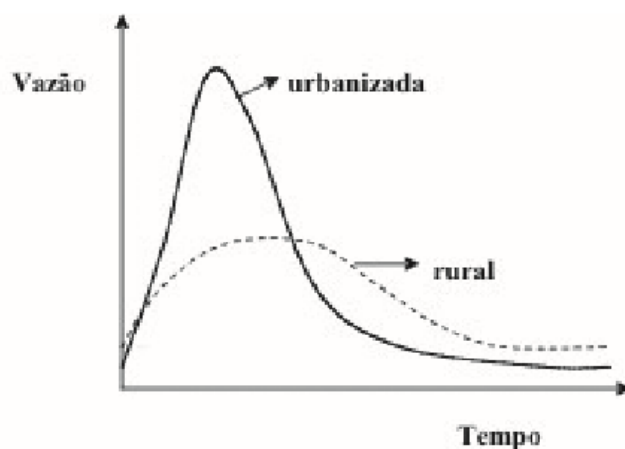
Fonte: Moura (2019).

Figura 7: Imagem do alagamento na BR 343 em Teresina-PI.



Fonte: Estrêla (2017).

Figura 8: Representação da vazão em superfície natural e urbanizada.



Fonte: TUCCI, 2008.

Em resposta a grande demanda de água em curto espaço de tempo os sistemas de drenagem natural ou artificial não suporta, ocasionando extravasamento. Seguindo este raciocínio Tucci, (2008) descreve que os impactos nas áreas urbanas podem ser decorrentes de dois processos, que pode estar isolado ou não:

- *Inundações de áreas ribeirinhas*: são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios por causa da variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica;
- *Inundações em razão da urbanização*: são as inundações que ocorrem na drenagem urbana por causa do efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento.

Para resolver esses problemas são construídos sistemas de drenagens que muitas vezes não resolve o problema, segundo (TUCCI, 2003) tais problemas ocorrem por causa da “visão distorcida do controle por parte da comunidade de profissionais que ainda prioriza projetos localizados, sem uma visão da bacia e dos aspectos sociais e institucionais das cidades”. De acordo com (PICKBRENNER et al, 2005; TUCCI, 2008), com o crescimento da urbanização, em geral, há um aumento na vazão de pico e pela inexistência de proteção na superfície, a água termina carreando vários sedimentos, acarretando o entupimento de canais e bueiros.

3. 5 Planejamento e Gestão Ambiental da Cidade de Teresina

3.5.1 Plano Diretor

Para o crescimento organizado de uma cidade, são feitos planos diretores, que tem como finalidade direcionar o crescimento da mesma de forma sustentável. No Brasil passa-se a ser obrigatório a criação do mesmo se a cidade tiver uma população superior a 20 mil habitante, a constituição de 1988 trata dessa obrigatoriedade, deixando bem claro no seu Art.182 § 1º,“O plano diretor, aprovado pela Câmara Municipal, obrigatório para cidades com mais de vinte mil habitantes, é o instrumento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana.” (BRASIL, 1988).

Teresina tem crescido bastante nas últimas décadas ultrapassando os 800 mil habitantes, sendo assim, tornou-se obrigatório a elaboração do plano diretor da cidade, estabelecendo diretrizes de crescimento em todas as áreas, visando o desenvolvimento sustentável do município. De acordo com Lima (2016):

Tratando dessa maneira o legislador coloca o Plano Diretor como a lei que direciona as ações municipais no que se refere ao crescimento do espaço urbano e todos os processos envolventes, e é reforçada pelo Estatuto da Cidade 2001 que orienta também como deverá ser elaborado com a participação da população em todas as fases, com audiências e debates; publicidade quanto aos documentos e informações produzidas, acesso de qualquer interessado aos documentos e informações produzidas (LIMA, 2016, p. 67).

A lei nº 3.558 de 2006 que institui o Plano Diretor de Teresina, denominado de Plano de Desenvolvimento Sustentável – Teresina agenda 2015, em seu Art. 7º constituem objetivos físico-ambientais: no inciso XV fala sobre a implantação gradual de sistemas de saneamento básico para o município, segundo Lima (2016, p.67) essa ferramenta “[...] é definido como instrumento normativo e orientador dos processos de transformação urbana, nos seus aspectos político sociais, físico-ambientais e administrativos, ou seja, global e trata de todas as esferas incluindo o meio ambiente[...]”. De acordo com a Lei Nº 3.559 de (2006), em seu Art. 1º Teresina tem que ter um bom zoneamento, objetivando assegurar melhores condições de habitabilidade e conforto para a população e, também, a otimização e economia dos serviços públicos de infraestrutura urbana, propiciando crescimento urbano racional, com a

preservação do meio ambiente e dos bens culturais, aumento das taxas de área verde, e ocupação adequada do solo urbano (TERESINA, 2006).

Através do plano diretor é feito outros planos diretores mais específicos, “ramificações”, de acordo com Lima (2016) “Os planos complementares surgem como instrumentos auxiliares do Plano Diretor da Cidade e tratam de questões específicas”, nesse caso podendo destacar o Plano de Drenagem Urbana (PDDRu), que tem como finalidade, propiciar mecanismos de gestão das bacias hidrográficas urbanas de forma eficiente, tanto de caráter ambiental, social e econômico.

3.5.2 Plano de Drenagem Urbana de Teresina (Pddru)

O plano diretor de drenagem é um importante mecanismo de controle e desenvolvimento da cidade, podendo o mesmo ser usado além de um mecanismo de gestão da água, ser usado como ferramenta de prevenção de desastres naturais, de acordo com (TERESINA, 2012):

O Plano Diretor de Drenagem Urbana tem o objetivo de criar os mecanismos de gestão da infraestrutura urbana relacionados com o escoamento das águas pluviais e dos rios na área urbana. Busca planejar a distribuição da água no tempo e no espaço, com base na tendência de ocupação urbana compatibilizando esse desenvolvimento e a infraestrutura para evitar prejuízos econômicos e ambientais. Também procura controlar a ocupação de áreas de risco de inundação através de restrições nas áreas de alto risco, além de propiciar as condições para convivência com as enchentes nas áreas de baixo risco (TERESINA, 2012, p.2).

O Plano de Drenagem do município tem como principal objetivo atender o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB), estabelecendo assim diretrizes que possa fornecer condições de sustentabilidade para as políticas de drenagem urbana. Através dele torna-se possível visualizar a estrutura do município, podendo assim estabelecer metas a serem concluídas e destacar quais as prioridades acerca dos impactos dos alagamentos no meio urbano. Para a elaboração do Plano de Drenagem Urbana de Teresina (PDDRu) foi levantado pela equipe técnica várias informações, entre elas destaca-se, relevo e vegetação.

De acordo com o plano de drenagem urbana de Teresina (PDDrU, 2012):

Para apresentação de resultados do PDDrU foram utilizadas sub-bacias de menor tamanho ou unidades de gerenciamento da drenagem urbana. As unidades foram definidas levando em consideração a relação entre as características físicas, os recursos hídricos e os aspectos políticos e

socioeconômicos. A organização das bacias foi realizada em três etapas: na primeira, procedeu-se uma divisão da área urbana de Teresina em três regiões hidrográficas (macrobacias urbanas), baseando-se nas três grandes bacias encontradas em Teresina, são elas as duas áreas de contribuição do Poti e uma do Parnaíba. Em uma segunda etapa, tomando como referência os principais rios, córregos e redes identificadas nas macrobacias urbanas, estas foram subdivididas em setenta sub-bacias hidrográficas. No desenvolvimento deste trabalho, as sub-bacias são consideradas as bacias elementares de estudo (TERESINA, 2012, p.26).

Para um melhor entendimento foi adotado abreviaturas, conforme segue:

Sub-bacias nomeadas com o índice "P" são tributárias do rio Parnaíba; Sub-bacias tributárias do rio Poti, foram nomeadas com os índices "PD" e "PE", que dizem respeito às bacias de contribuição da margem direita e da margem esquerda, respectivamente.

3.6 Bacia Hidrográfica como Sistema de Gestão Contra as Inundações

Como já supracitado, a vegetação funciona como um importante interceptador de chuva, facilitando a infiltração no solo e diminuindo o escoamento superficial, no entanto, com a expansão urbana sem planejamento, essa dinâmica é reduzida, sendo assim, o estudo de bacias hidrográficas no meio urbano se torna um importante mecanismo do planejamento regional, levando em consideração que a mesma pode ser estudada em diferentes escalas, e que sua interação influencia de maneira direta na qualidade de vida das populações, segundo Yassuda (1993) "A bacia hidrográfica é o palco unitário de interação das águas com o meio físico, o meio biótico e o meio social, econômico e cultural". Mas para que venha haver esse planejamento é necessário um banco de dados, com informações aceitáveis da área de interesse, de acordo com Monica (2008):

Uma gestão sustentável dos recursos hídricos necessita de um conjunto mínimo de instrumentos principais: uma base de dados e informações socialmente acessível, a definição clara dos direitos de uso, o controle dos impactos sobre os sistemas hídricos e o processo de tomada de decisão (MONICA, 2008, p.50).

Para um gerenciamento adequado de uma bacia é necessário fazer uma divisão da mesma de acordo com os interesses da região, sendo que, cada município seja responsável por sua área, e de acordo com o tamanho da bacia, as atribuições e competências passam a ser mais flexíveis, segundo Monica, (2008) torna-se necessário "o exercício do princípio

federativo, de atribuições e competências dos três entes federativos (União, Estados e municípios), visando à gestão compartilhada do bem de uso comum, a água”, a mesma autora ressalta que as competências e a resolução dos problemas depende da escala que a mesma está inserida, sendo assim, para resolver os problemas nas bacias hidrográficas primeiramente é necessário verificar a escala em que a problemática está inserida.

A questão da escala a ser utilizada depende do problema a ser solucionado. Pode ser delimitada a totalidade da bacia do Rio Amazonas, desde suas cabeceiras mais distantes na cordilheira andina até seu exutório do Oceano Atlântico, assim como podem ser delimitadas suas sub-bacias, maiores ou menores, dependendo da necessidade do problema a ser abordado. Diz-se que o tamanho ideal de bacia hidrográfica é aquele que incorpora toda a problemática de interesse. Pode-se ter interesse em uma pequena bacia de 0,5 km² numa área urbana, como na bacia do Rio São Francisco, com mais de seus 600.000 km² de área. Esse conceito sistêmico adapta-se muito bem aos sistemas de gestão de recursos hídricos (MONICA,2008, p.45).

Visando o alcance de um sistema de drenagem sustentável, e levando em consideração que a abordagem tradicional para problemas de inundações e alagamentos não estava resolvendo, mas apenas transferindo os mesmos para outras regiões. Deu-se início ao conceito de sistema de drenagem urbana sustentável, este conceito teve suas origens na Austrália *Sustainable Urban Drainage Systems* (SUDS, Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável) O sistema de drenagem urbana sustentável tem como principal finalidade, “imitar” o ciclo hidrológico utilizando-se de métodos estruturais e não estruturais.

3.6.1 Medidas Estruturais

Os métodos estruturais podem ser caracterizados como medidas de engenharia implementadas para reduzir os riscos de enchentes, mecanismos que permita reter ou deter as águas pluviais, essas medidas podem ser de dois tipos, extensiva e intensiva.

3.6.2 Medidas extensiva

As medidas extensivas são aquelas que atuam na fonte do escoamento, elas estão distribuídas em toda a extensão da bacia hidrográfica, como exemplo pode ser citado a vegetação, que é um importante mecanismo de controle na fonte do escoamento. Segundo

(TUCCI, 2005, p.56): “[...] a cobertura vegetal tem a capacidade de armazenar parte do volume de água precipitado pela interceptação vegetal, aumentar a evapotranspiração e reduzir a velocidade do escoamento superficial pela bacia hidrográfica”.

3.6.3 Medidas Intensivas

As medidas intensivas são mais restritas ao curso do rio, como por exemplo a criação de canais, reservatórios para diminuição dos picos de cheias, o mesmo pode ter especificidade só para controle de cheias ou poder ter múltiplos usos, como por exemplo para a recreação da comunidade (figura 9).

Figura 9: Reservatório de retenção de múltiplos usos.



Fonte: PINTO, 2006.

3.6.4 Medidas não-estruturais

As medidas não estruturais por sua vez, prioriza soluções que reduza os danos ou suas consequências através de mecanismos legais, como plano diretor, plano de drenagem urbana e programas que visem o zoneamento eficaz do solo, sistemas de alerta e a educação ambiental como mecanismo de sensibilização dos moradores, por exemplo, o Estatuto da Cidade tem

como instrumentos e controle de inundações o parcelamento, edificação ou utilização compulsórios, tornando a obrigatoriedade de parcelar, edificar ou utilizar o solo urbano, induzindo o adensamento de áreas já dotadas de infraestrutura e evitando a pressão sobre as áreas ambientalmente frágeis, como áreas com riscos de inundações e alagamento.

Outro mecanismo utilizado para o planejamento de forma não estrutural é a criação de Zonas Especiais de Interesse Social, que tem como finalidade a redução das pressões urbanas sobre áreas de risco, as quais tendem a ser invadidas e ocupadas irregularmente, uma vez que são criadas políticas de habitação voltadas para inclusão urbana da população de baixa renda.

Essas áreas também podem reduzir possíveis impactos do adensamento no ciclo hidrológico, exigindo padrões de construção sustentáveis e previsão de medidas compensatórias para o controle de inundações, além de trazer para a legalidade famílias alocadas em áreas irregulares e de risco, possibilitando um maior controle do uso do solo pelo município.

O Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro, aprova o quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundações, com o objetivo de reduzir as suas consequências prejudiciais. Neste DL é estabelecido que, em cada região hidrográfica ou unidade de gestão que venha a ser definida, seja avaliado o risco de inundação e as respectivas medidas suplementares para a sua mitigação. E o Decreto-Lei 364/98, de 21 de novembro, estabelece a obrigatoriedade de elaboração de uma carta de zonas inundáveis nos municípios com aglomerados urbanos atingidos por cheias.

Como pode ser visto e de acordo com Araújo (2013)

[...]as medidas não estruturais incluem normas e regulamentos que disciplinam a ocupação e o uso do solo, bem como estratégias de sensibilização da população, por meio da educação ambiental (ações educativas), para observação e cumprimento de tais normas e regulamentos. Estas são extremamente importantes na temática da mitigação dos riscos de cheia na medida em que são um elemento fulcral para a limitação e controlo do uso do solo nas áreas potencialmente afetadas, bem como a redução dos danos (ARAÚJO, 2013).

Gonçalves (2017) relata que além das legislações que responsabilizam os estabelecimentos pelo escoamento superficial e que já começam a funcionar em alguns municípios brasileiros, infraestruturas verdes podem ser incluídas ao processo de planejamento da paisagem das bacias hidrográficas urbanas. Busca-se a sustentabilidade ao mimetizar a paisagem pré-urbanizada e ao restabelecer as dinâmicas do ciclo hidrológico (GONÇALVES, 2017).

3.7 A TEORIA DOS SISTEMAS E AS GEOTECNOLOGIAS COMO FERRAMENTA DE ESTUDO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS

O conceito de sistema traz sempre as noções de totalidade, interação e organização, de início entende-se que um sistema é um complexo de elementos em interação um com o outro. Segundo Gusmão (2016):

Todos os ambientes do planeta Terra são sistemas complexos e dinâmicos constituídos por elementos bióticos e abióticos. Sistemas desta natureza são caracterizados por dois aspectos: (1) a presença de retroalimentação, através da qual pequenas alterações podem gerar efeitos notáveis devido ao efeito de amplificação que se baseia na complexa rede das interligações entre os componentes do sistema; e, (2) a existência de níveis críticos, que quando atingidos tendem a desequilibrar os sistemas (Gusmão, 2016, p.33).

A busca por metodologias que possibilite a melhor representação possível da realidade tem ganhado forças nos últimos anos, principalmente com relação aos estudos geográficos, buscando formas de articular diversas áreas do conhecimento, como por exemplo a geografia, geologia, flora, climatologia dentre outras, para juntas formar uma base de dados que possa representar a superfície terrestre da melhor forma possível, dando-se início a uma nova abordagem metodológica, a teoria geossistêmica. Desta forma a teoria geossistêmica surgiu principalmente da necessidade de se lidar com a interdisciplinaridade existente nos sistemas. Segundo Rodrigues (2001):

A segunda lei da termodinâmica permitiu o desenvolvimento de uma teoria que representou uma contribuição mais imediata para a formulação da teoria geossistêmica: a teoria Geral dos Sistemas. Proposta pelo biólogo Ludwig von Bertalanffy em 1901, visava tanto a investigação científica dos sistemas em várias ciências quanto sua aplicação tecnológica, a própria filosofia dos sistemas, no sentido de promover a discussão desses novos paradigmas científico (RODRIGUES, 2001, p.72).

Até meados do século XXI, essa teoria permaneceu pouco difundida, mas uma série de apropriações em diversos ramos científicos ocorreu a partir de então. Ela propõe que os sistemas podem ser definidos como conjunto de elementos com variáveis e características diversas, que mantêm relações entre si e entre o meio ambiente (RODRIGUES, 2001). Um ponto de extrema importância na abordagem sistêmica é a possibilidade de se identificar a dinâmica existente nos processos, pela qual é possível classificar os geossistemas de acordo com seu estado ou estados sucessivos, assim como é possível assumir ou propor hipóteses

sobre sua dinâmica futura, característica fundamental para a aplicação ou para o planejamento. Rodrigues (2001) destaca como orientação para a sistematização, a modelagem, que deverá ser subsidiada pela mensuração direta das trocas, circuitos, balanços de matéria e energia nos sistemas e subsistemas.

Dentro dos geossistemas entra as geotecnologias, ferramenta que possibilita a junção das características identificadas nas análises dos sistemas, como por exemplo a sobreposição de diversas informações físicas e biológicas da superfície terrestre.

O avanço das tecnologias de análise superficiais (geotecnologias) é de grande valia para o entendimento das interações dos sistemas/ecossistemas, uma vez que possibilita o acompanhamento constante do mesmo. Atualmente as ferramentas disponíveis que possibilita o tratamento de dados geográficos é bastante utilizado para a delimitação de bacias hidrográficas, possibilitando uma visão da totalidade da mesma, facilitando assim as tomadas de decisões.

Outra vantagem das ferramentas disponibilizada pelas geotecnologias é a possibilidade de se delimitar bacias hidrográficas de forma automática através da manipulação de MDE (Modelos Digitais de Elevação). Essas ferramentas têm facilitado a gestão das bacias hidrográficas, uma vez que passa a ser possível identificar uma escala que melhor atenda às necessidades/probleáticas de determinada região geográfica. Os MDE também possibilitam através de cálculos de pixel extrair a drenagem de todo o modelo, quando os elementos de drenagem são gerados, passa a ser possível identificar um exutório, e posteriormente delimitar a sub-bacia de interesse.

De acordo com Santos (2010);

Entre os componentes da modelagem hidrológica assistidas por SIG cita-se os dados provenientes da análise do terreno, caracterização morfológica das bacias hidrográficas e da rede de drenagem, a parti do Modelo Digital de Elevação (MDE). Os MDE tem sido utilizado para delinear redes de drenagem e limites de bacias hidrográficas, calcular as características da área, declividade e orientação do terreno e produzir modelagem do fluxo superficial, dentre outros. Estes índices qualitativos objetivam auxiliar estudos hidrológicos e de outras naturezas (SANTOS, 2010, p. 86).

Arelado aos mapeamentos de rede de drenagem vem o mapeamento de uso e ocupação do solo, outro importante mecanismo de análise da superfície terrestre, segundo

(SANTOS, 2011);

Os mapas de uso do solo têm grande importância por demonstrarem a partir da interpretação de imagens de satélites as áreas ocupadas por pastagem, agricultura, vegetação natural nativa, cursos de rios e outras feições. Possibilitam também a indicação de áreas de risco ou aquelas que já foram intensamente degradadas em determinada região[...] (SANTOS, 2011).

De acordo com a mesma autora, o mapeamento do uso do solo

consiste em buscar conhecer a forma com que a área de interesse é utilizada, permitindo uma caracterização das interações antrópicas com o meio ambiente, se constituindo como uma representação espacial dessas interações (SANTOS, 2011).

Através dos dados gerados com o mapeamento torna-se possível obter um norteador para o planejamento visando um crescimento sustentável.

Outras vantagens dos SIGs, e com auxílio de métodos estatísticos, é a possibilidade de simular o comportamento hidrológico nas bacias hidrográficas, como por exemplo a relação entre uso e cobertura do solo com o processo de chuva-vazão, através de modelagens hidrológicas.

3.7.1 Modelagem Hidrológica

Com as mudanças nos ecossistemas nos últimos anos decorrentes principalmente pelas ações antrópica, tornou-se necessário a elaboração de novos métodos de investigação dos sistemas ambientais, segundo Latuf (2011):

[...] a ciência elaborou técnicas de investigação e previsão dos sistemas ambientais, dentre eles o ciclo hidrológico, com o objetivo de compreender os comportamentos dos sistemas, bem como auxiliar os gestores públicos em processos de decisão (LATUF, 2011, p.75).

No entanto este conceito não é novo, mas que vem adquirindo novos conceitos devido ao avanço tecnológico, segundo Latuf, (2011) a modelagem dos sistemas ambientais teve início na década de 1950, iniciando-se as primeiras tentativas de modelagem hidrológica. No entanto, (ALMEIDA, 2017) relata que “a modelagem hidrológica surgiu, há mais de um século”, e de forma mais abrangente na década de 1930.

Almeida (2017) relata que:

Os grandes avanços começaram, de fato, a partir de 1930, quando agências governamentais de países desenvolvidos começaram a desenvolver seus próprios programas de pesquisas hidrológicas. Os modelos desenvolvidos nessas pesquisas tratavam de descrever os processos de cada componente do ciclo hidrológico. Em 1932, Sherman desenvolveu o Hidrograma Unitário (ALMEIDA, 2017, p132).

De acordo com (RHAMA,2019) modelo hidrológico é:

É a representação matemática de um objeto ou sistema, objetivando entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes simulações. O modelo hidrológico é bastante utilizado para se antecipar a eventos como, por exemplo, o impacto da urbanização de uma bacia antes que ela ocorra, a previsão de uma enchente em tempo real, impacto da alteração de um rio, ocorrência de eventos extremos estatisticamente possíveis, tornando possível a realização de medidas preventivas para estas diversas situações (RHAMA,2019).

Ou seja, “O modelo é, pois, uma forma de representação reduzida do mundo real, utilizando-se de generalizações para a compreensão dos comportamentos dos sistemas, podendo ser replicável sua utilização em diferentes sistemas” (LATUF, 2011). “Os modelos estão sendo cada vez mais utilizados em estudos ambientais, pois ajudam a entender o impacto das mudanças no uso da terra e prever alterações futuras nos ecossistemas” (INPE, 2000).

Baseando-se neste conceito, e no hidrograma unitário (TOMAZ, 2012, p.2) descreve o método do SCS (*Soil Conservation Service*), de acordo com o autor o método é mais “conhecido nos Estados Unidos, [...] e cujo nome novo é NRCS (*National Resources Conservation Service*)”. Sendo o mesmo aplicado para áreas que podem variar de 3km² a 250km².

Para a modelagem hidrológica com o método SCS além do conceito de hidrograma unitário, ele também se baseia na metodologia do Curve Number, onde os dois se juntam para a elaboração dos hidrogramas de chuva-vazão.

O Curva Número (Curve-Number) de acordo com Lima, (2014) foi desenvolvido através de análise de aproximadamente 3 mil tipos de solos e coberturas. Com os dados gerados das análises possibilitou a elaboração de uma fórmula empírica que relaciona a capacidade de armazenamento da bacia com um parâmetro Número Curva (CN). Com este estudo foi possível relacionar diferentes tipos de solos e suas coberturas com valores de CN

como pode ser visto na (figura 10). O CN pode variar de 0 a 100, sendo que 0 (zero) o solo é totalmente permeável e 100 (cem) o solo é totalmente impermeável.

Figura 10: Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.

UTILIZAÇÃO OU COBERTURA DO SOLO	A	B	C	D
Zonas cultivadas: sem conservação do solo	72	81	88	91
com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais: cobertura ruim	45	66	77	83
Cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golfe, 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 (m2) % média impermeável				
<500 65	77	85	90	92
1000 38	61	75	83	87
1300 30	57	72	81	86
2000 25	54	70	80	85
4000 20	51	68	79	84
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: Teresina, 2011.

Como os solos têm várias características de porosidade que facilita ou não a infiltração, com base nos valores tabelados de CN é possível calcular as perdas iniciais ou capacidade de armazenamento do solo até que o mesmo fique saturado e comece a gerar escoamento superficial. A capacidade de armazenamento do solo é estimada pela equação 1.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação (1)}$$

Para à separação do escoamento superficial o modelo SCS baseia-se na seguinte razão, só é gerado escoamento superficial se a precipitação for $P > 0,2 S$, pois enquanto há

armazenamento no solo não existe escoamento superficial, e é estimada com base na equação 2.

$$P_{ef} = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad \text{Equação (2)}$$

quando $P \leq 0,2S$, $P_{ef} = 0$

onde: P é a precipitação em mm;

P_{ef} é a precipitação efetiva;

S é o armazenamento no solo em mm.

3.7.2 Chuva de Projeto

A bacia hidrográfica é tida como um sistema, que necessita de um estímulo, à precipitação (PICKBRENNER et al, 2005; SANTOS, 2017). No entanto, em algumas regiões brasileiras não é possível a aquisição de dados robustos de precipitação para ser usado nos softwares de simulações hidrológicas, tornando-se necessário a elaboração de chuvas de projetos através de cálculos estatísticos, com o objetivo de obter dados de precipitação para os projetos de drenagem. Segundo a (PMT, 2011, p.21) “A precipitação é a principal informação hidrológica de entrada utilizada no cálculo das vazões de projeto das obras de drenagem pluvial”.

De acordo com a (PMPA, 2005; PMT, 2011. p, 21) “A precipitação de projeto é, por sua vez, um evento crítico de chuva construído artificialmente com base em características estatísticas da chuva natural e com base em parâmetros de resposta da bacia hidrográfica”.

Esses parâmetros estatísticos se baseiam em dois elementos básicos;

- Período de retorno T_r da precipitação de projeto (anos);
- Duração crítica D_{cr} do evento (min).

O aposto de projeto significa, justamente, que está associado à precipitação de projeto um período de retorno que foi pré-estabelecido conforme a importância da obra, conforme previamente discutido. Por convenção, atribui-se à vazão de projeto ou ao hidrograma de projeto calculado com base nesta precipitação, o período de retorno desta.

A duração crítica é outro elemento indispensável à definição das precipitações de projeto, pois ela deve ser longa o suficiente para que toda a bacia contribua com o escoamento superficial, o que equivale dizer que a

precipitação efetiva (parcela da precipitação total que gera escoamento superficial) deve ter duração igual ao tempo de concentração da bacia contribuinte (PMT, 2011. p, 22).

As precipitações de projeto são normalmente determinadas a partir de relações intensidade duração-frequência (curvas IDF) da bacia contribuinte. Expressas sob forma de tabelas ou equações, as curvas IDF fornecem a intensidade da precipitação para qualquer duração e período de retorno. Pode-se obter uma lâmina ou altura de precipitação, multiplicando-se a intensidade dada pela IDF pela sua correspondente duração. A IDF de um local é definida a partir de registros históricos de precipitação de pluviógrafos, e representa o máximo pontual (PMPA, 2005; PMT, 2011. p, 21).

A equação proposta para a IDF de Teresina com base na (PMT, 2011) é a equação 3.

$$i = \frac{1194,273T^{0,1738}}{(t+10)^{0,7457}} \quad \text{Equação (3)}$$

Onde: i é a intensidade da chuva em mmh⁻¹;
 T é o período de retorno do evento em anos e;
 t é a duração em minutos.

3.7.3 Distribuição Temporal de Precipitação

Uma das dificuldades de se elaborar uma chuva de projetos é que, as chuvas naturais possuem uma considerável variabilidade temporal, tornando cada evento de chuva únicos. A (PMT, 2011, p.25) descreve que “[...] a variabilidade temporal da precipitação natural dificilmente segue um padrão formal identificável, ou seja, os hietogramas que se sucedem no tempo são diferentes uns dos outros”. “Além disso, essa variada configuração espacial muda rapidamente com os intervalos de tempo sucessivos do evento chuvoso” (PMPA, 2005). No entanto com o apoio da estatística consegue-se extrair uma correlação espacial dos eventos chuvosos (PMPA, 2005).

A distribuição temporal vai depender muito do método hidrológico utilizado, porém, nos projetos de drenagem, os projetistas costumam utilizar aqueles “[...] que atribuem uma distribuição arbitrária temporal para chuvas de projeto, baseadas em cenários que produzem inundações críticas” (PMPA, 2005, p.26).

Para esta distribuição o manual de drenagem urbana de Porto Alegre e o plano diretor de drenagem urbana de Teresina apresentam o método dos blocos alternados, que constrói o hietograma de projeto a partir da curva IDF.

Segundo a (PMT, 2011. p, 24);

A metodologia denominada de bloco alternados distribui a precipitação ao longo do tempo de forma a buscar um cenário crítico de precipitação. Este cenário baseia-se em precipitação pequena e média no início do tempo e precipitação alta próximo do final da duração, quando geram hidrogramas com grande pico (PMT, 2011. p, 24).

Para a elaboração da distribuição da chuva pelo método de blocos alternados o manual de drenagem urbana de Teresina (PMT, 2011. p, 24) descreve o seguinte roteiro:

1. Para o período de retorno escolhido, calcular através da IDF selecionada a precipitação correspondente à duração, espaçadas pelo intervalo de tempo até a duração total.

A duração total (dt) da precipitação deve ser igual ou maior que o tempo de concentração (tc) da bacia, permitindo que toda a bacia “sinta” o efeito da precipitação.

O intervalo de tempo (Δt) da precipitação deve ser igual, e preferencialmente menor a $1/3$ do tempo de pico do hidrograma unitário da bacia.

Como este valor nem sempre está disponível, é recomendável utilizar um intervalo de tempo que seja menor igual a $1/10$ do tempo de concentração.

Sugere-se considerar intervalos de Δt entre 5 e 10 minutos em hietogramas com duração total de até 2 horas. Para durações maiores que 2 horas recomenda-se utilizar intervalos de Δt entre 10 e 20 min.

Por exemplo, sendo a duração total (dt) de 60 min e o intervalo de tempo (Δt) de 10 min, calcula-se a partir da IDF as precipitações para as durações de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos. Estes valores são precipitações acumuladas, $Pa(t)$, para cada duração.

2. Considerando que a precipitação em cada intervalo de tempo é a diferença entre dois intervalos de tempo, obtém-se a primeira versão do hietograma. Por exemplo, a $Pi(t=30min) = Pa(30min) - Pa(20min)$. Geralmente este

resultado mostrará o valor máximo no primeiro intervalo de tempo, portanto o hietograma deve ser reordenado para buscar cenários mais desfavoráveis.

3. Para reordenar o hietograma, posicione o maior (primeiro) valor a 50% da duração, o segundo logo após ao anterior e o terceiro antes do maior valor e assim, sucessivamente como pode ser na (figura 11) (PMT, 2011. p, 24).

Figura 11: Hietograma de 60 minutos pelo método dos blocos alternados.

Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
Tempo (min)	I (1) (mm/h)	P _{acum} (2) (mm)	P _{desac} (3) (mm)	Ordem Decrescente	Ordem Alternada	P _{rearr} (4) (mm)
10	190,86	31,81	31,81	1º	5º	5,85
20	141,06	47,02	15,21	2º	3º	9,89
30	113,83	56,91	9,89	3º	1º	31,81
40	96,38	64,25	7,34	4º	2º	15,21
50	84,13	70,11	5,85	5º	4º	7,34
60	74,99	74,99	4,89	6º	6º	4,89

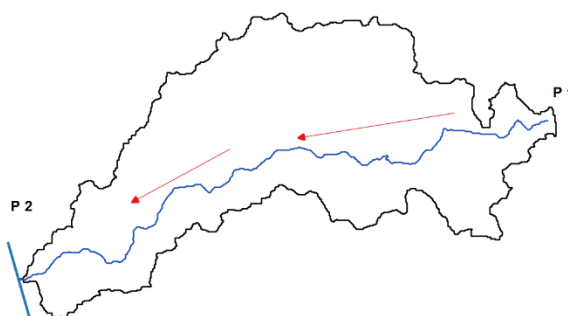
Fonte: PMT (2011), adaptado pelo autor (2019).

- 1 - Calculado com a IDF com t dado pela 1ª coluna
- 2 - Multiplicação da 1ª coluna (tempo) pela 2ª (i) dividida por 60
- 3 - É o hietograma completamente adiantado obtido pela desacumulação da 3ª coluna
- 4 - É o hietograma final resultante do rearranjo dado pela ordenação alternada

3.7.4 Tempo de Concentração

De forma conceitual, o tempo de concentração é o tempo que uma gota de chuva, que atinge a região mais remota da bacia hidrográfica, leva para atingir o exutório. Para entender o significado do tempo de concentração, considere o ponto P1 da bacia hidrográfica (figura 12).

Figura 12: Ilustração do tempo de Concentração.



Fonte: Autor (2019).

O tempo de concentração é o tempo necessário para uma gota de chuva percorrer a bacia do ponto P1 até o ponto P2, neste caso, considerando que a bacia não tem obstáculos para impedir a mesma percorrer de P1 até P2. Para o cálculo do tempo de concentração alguns autores desenvolveram fórmulas, no entanto seus valores podem variar muito de uma para outra, neste caso para determina o tempo de concentração vai depender do tipo de bacia hidrografia, cabendo neste caso ao projetista escolher a que melhor se encaixe na realidade local, na tabela 1 são apresentadas algumas fórmulas disponíveis para o cálculo do tempo de concentração e suas especificações.

Tabela 1: Formulas para identificar o tempo de concentração.

Fórmula	Equações	Termo s	Comentários		
			DNIT(2005)	Mata-Lima(2007)	SILVEIRA(2005)
Ventura	$tc = 240 \sqrt{\frac{AL}{H}}$	(Km²) A L (Km) H (m) Tc (Min)	Qualquer tamanho de bacia	Recomendada pela École Nationale des Ponts et Chaussées(France)	Coerentes a sua aplicação pratica a pequenas bacias
Pasini	$tc = \frac{0,108(AL)^{\frac{1}{3}}}{i^{0,5}}$	A (Km²) L (Km) i (m/m) Tc (h)	Aplicável a bacias de qualquer Tamanho	Bacias Italianas	-
Picking	$tc = 0,088333(\frac{L^2}{i})^{0,333}$	L (Km) i (m/m) Tc (h)	Não indicada para bacias grandes	-	Grande possibilidade de ser uma verdadeira formula para o tempo de concentração em bacias urbanas; Não adequadas para bacias rurais; Suspeita de uma fórmula efetivamente urbana;
Ven Te Chow	$tc = 0,8773(\frac{L}{\sqrt{i}})^{0,64}$	L (Km) i (m/km) Tc (Min)	Não indicada para bacias grandes	-	Funcionou bem para bacias entre 153 e 11162 km2 em bacias rurais

Federal Aviation Administration	$tc = 1,8 * (1,1 - C)L0,5i-0,333$	L (pés) i (%) C Tc (Min)	-	Bacias urbanas	Merece destaque para bacias urbanas de parcela (pequenas); Melhores resultados em bacias urbanas muito pequenas;
SCS Lag	$t_{lag} = \frac{2,587L0,8(1000 - 9)0,7}{CN0,5 \cdot 1900i}$ $tc = t_{lag}/0,6$	L (m) i (%) CN Tlag (h) Tc(h)	-	Pode subestimar o Tlag em bacias mistas; Reflete essencialmente o escoamento concentrado; Recomendado para bacias homogêneas de até 810 ha	Não apresentaram bons resultados em bacias rurais por causa da variável explicativa CN;
Schaake	$tc = \frac{0,503 L^{0,24}}{i^{0,16} A^{0,26}}$	L (pes) i (pés/ pés) Ai(%) Tc(min))	-	Bacias urbanas, incluindo ruas pavimentadas com sarjetas	Gama de áreas teóricas inferior a 70 há em bacias Urbanas
Epsey	$tc = 1,24 \left(\frac{L}{\sqrt{i}} \right)^{0,36}$	L (milha) i (pés/m ilha) tc(h)	-	Bacias Naturais	-
Bransby Williams	$tc = 0,605 \frac{L}{i^{0,2} A^{0,1}}$	L (Km) i (%) A (Km²) Tc(h)	-	Bacias rurais	-
Pickering	$tc = \left(\frac{0,871L^3}{H} \right)^{0,385}$	L (Km) H(m) Tc (h)	-	Multiplicar por 0,4 superfície asfaltadas ou por 0,2 (canais de Betão); Bacias rurais de 0,5-45,3 há; Declives 3=10%	-
Kirpich	$tc = 0,0195L0,77i-0,385$	L (m) i (m/m) tc(min)	Bacias médias e grandes	Multiplicar por 0,4 superfície asfaltadas ou por 0,2 (canais de Betão); Bacias rurais de 0,5-45,3 há; Declives 3=10%	Funcionou bem para bacias entre 153 e 11162 km² em bacias rurais; Possibilidade de avançar em áreas de até 26 km²; Bacias rurais de grande e médio porte;
Kirpich-Modificada	$tc = 1,42 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$	L (Km) H tc(h)	Próxima a média das 15 expressões analisadas pelo DNIT; Aplicação em uma grande faixa de áreas	-	-

U.S Corps of Engineers	$tc = 0,3 \left(\frac{L}{i} \right)^{0,76}$	L (Km) i (%) Tc (h)	Bacias pequenas (0,03 - 2,5 km2; curso principal de 0,12 a 3,6 km; desnível de 20 a 380 m)	-	Mais representatividade em bacias rurais; Bacias rurais menores que 12000 km2
------------------------	--	------------------------	--	---	---

Fonte: Monte (2019).

4 MÉTODOS E PROCEDIMENTOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

A cidade de Teresina, capital do Estado do Piauí, está localizada nas coordenadas geográficas 5°34'57" S, 43°00'32" O e 4°46'47" S, 42°35'39" O, na confluência de dois mananciais hídricos de grande importância regional. Os trechos dos rios Poti e Parnaíba que banham a cidade evidenciam uma série de características físicas que devem condicionar o planejamento e a tomada de decisão para este espaço. (LIMA, 2016). “Ao atravessar a cidade de Teresina, o rio Poti encontra-se no seu baixo curso, apresentando traçado fortemente meandrante até sua foz no Parnaíba” (LIMA, 2011, p.1).

O Município é definida pelo IBGE (2008), como Centro Regional, dentro da estrutura urbana brasileira, constituindo-se no principal centro urbano do Estado do Piauí, com funções predominantemente administrativas, de comércio e serviços. “Localizada à margem direita do Rio Parnaíba, limita-se com a cidade maranhense de Timon, possuindo uma área de 1.392km². A zona urbana ocupa uma área equivalente a 248,47km², correspondente a quase 18% da área do município” (Lima, et al 2010, p.235).

De acordo com dados do Censo 2010, a população residente no município de Teresina era de 814.230 habitantes. Desse total, 767.557 habitantes, o equivalente a pouco mais de 94%, residiam na zona urbana, e 46.673, ou pouco menos de 6%, residiam na zona rural. Uma primeira leitura dessa situação é a de que o município de Teresina, que possui um extenso território, ocupa apenas 18%, aproximadamente, da área do município com uma população urbana, de pouco mais de 760 mil habitantes (IBGE, 2010). Segundo (LIMA, 2016) a cidade de “Teresina tem passado por mudanças significativas em diversos aspectos desde a década de 40 como pode ser visto na (figura 13), com o incremento significativo do número de pessoas residentes e intervenções estruturais marcantes que afetam a dinâmica natural e afetam a paisagem urbana”.

Figura 13: Evolução da População Urbana e Rural de Teresina. Período: 1940/2010.

Anos	Urbana	Percentual	Rural	Percentual	Total
1940	34.695	51,29%	32.946	48,71%	67.641
1950	51.417	56,67%	39.306	43,33%	90.723
1960	98.329	68,91%	44.362	31,09%	142.691
1970	181.062	82,12%	39.425	17,88%	220.487
1980	339.042	89,75%	38.732	10,25%	377.774
1991	556.911	92,93%	42.361	7,07%	599.272
2000	677.470	94,70%	37.890	5,30%	715.360
2010	767.777	94,27%	46.662	5,78%	814.439

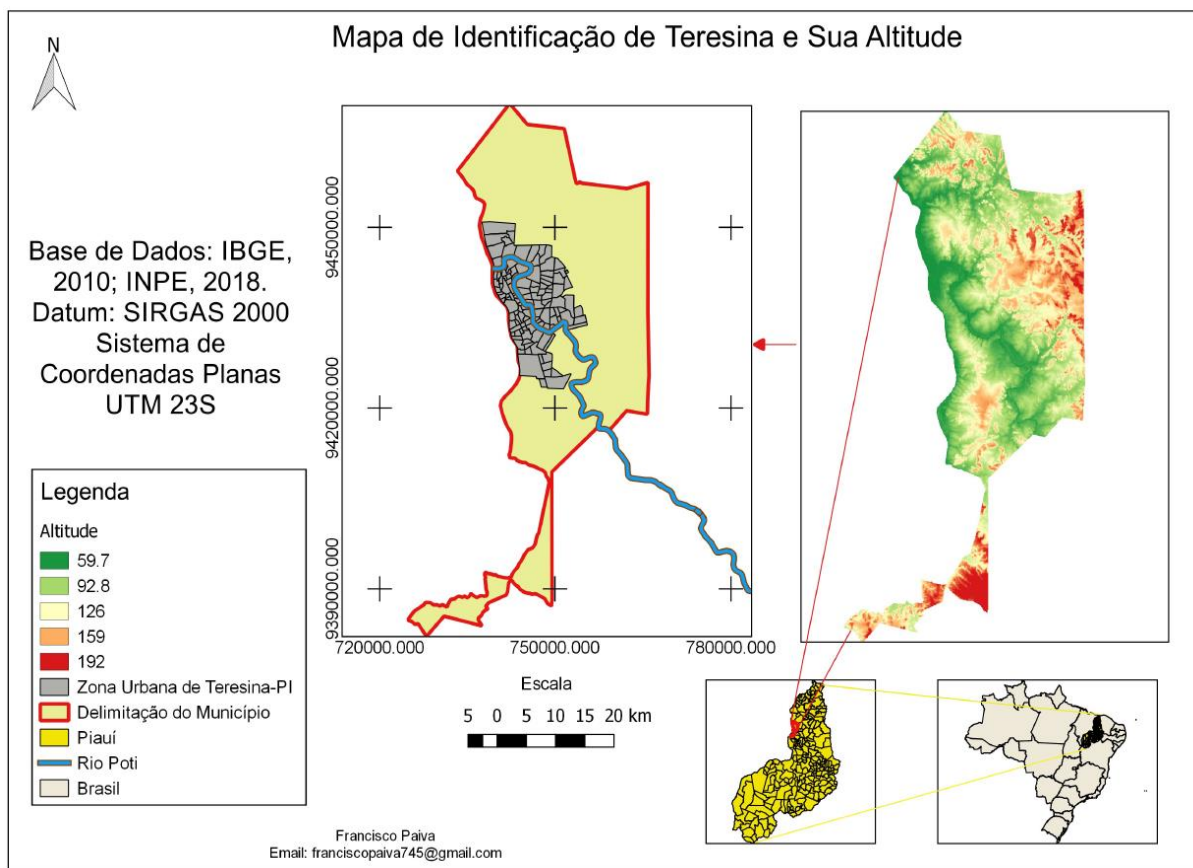
Fonte: LIMA, 2016.

Levando em consideração que o Município está localizado em um ponto estratégico, localizada entre dois rios, se torna um importante centro comercial, esse foi um dos principais pontos levado em consideração para formação da mesma, Lima (2016) considera que:

Teresina apresenta, de fato, componentes positivos que acabam por congregam um contingente populacional significativo especialmente nos últimos quarenta anos. A população que se assenta neste espaço foi ocupando áreas da cidade de diversas formas muitas vezes infringindo os limites naturais deste espaço (LIMA, 2016, p.83).

O município tem variações de altitude de 59 - 192 como pode ser visto na (figura 14). A região urbana é considerada como sendo de relevo bastante plano, com exceção de alguns bairros da zona sul e outros na zona leste.

Figura 14: Mapa de identificação de Teresina-PI.

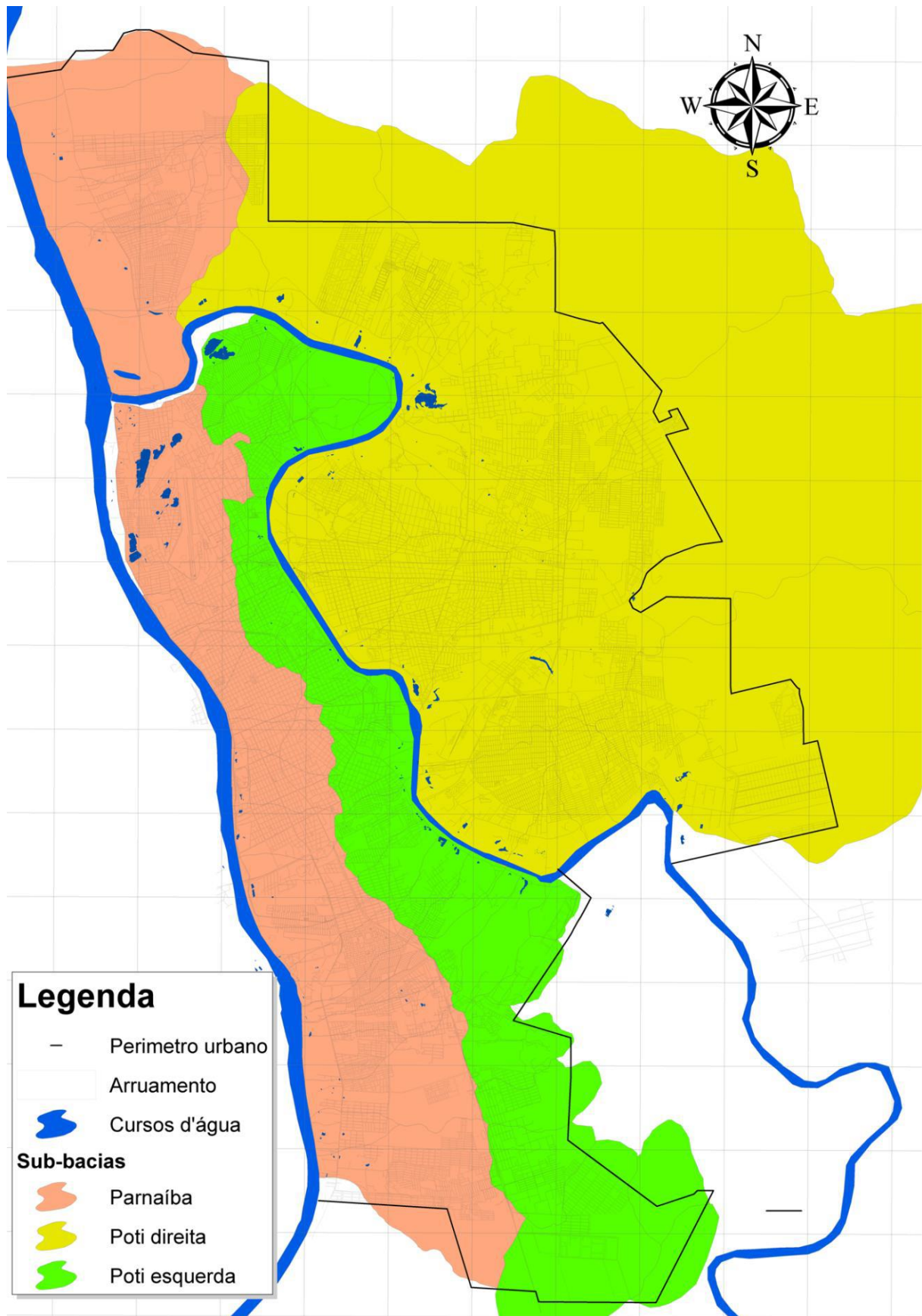


Fonte: Autor (2019).

4.2 Bacia Hidrográfica de Estudo

Em função do relevo e da hidrografia de Teresina, são identificadas três macrobacias de escoamento das águas pluviais (figura 15). Uma delas de contribuição direta ao rio Parnaíba e outras duas de contribuição direta ao rio Poti. Esses rios possuem inúmeros pequenos afluentes que, descaracterizados e escondidos pela ocupação urbana, fazem escoar suas águas até esses dois rios. Eles são os corpos receptores dos caudais gerados sobre ruas, avenidas ou conduzidos no interior das galerias existentes (TERESINA, 2012).

Figura 15: Identificação das três macrobacias de Teresina.

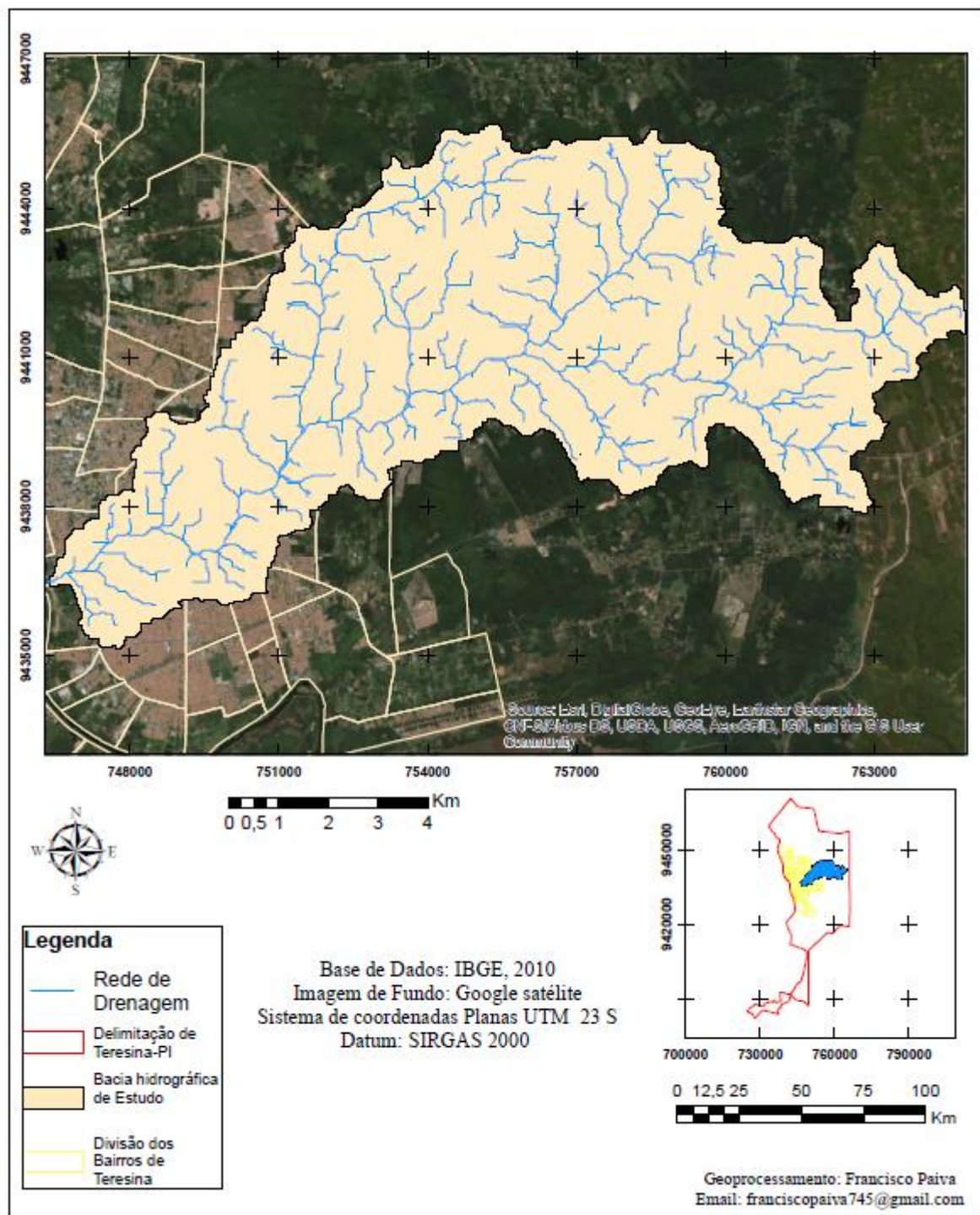


Fonte: Teresina (2012).

A bacia hidrográfica deste estudo está localizada na macro bacia denominada pela prefeitura de Teresina como “Poti direita” (Figura 15). De acordo com a metodologia de estudo da prefeitura, a área de estudo está inserida na sub-bacia PD 11, que se caracteriza, como sendo bastante heterogênea, a maior sub-bacia da área urbana de Teresina, extrapolando os limites do perímetro urbano. Mesmo que grande parte de sua área esteja inserida na zona urbana, alterna áreas remanescentes da vegetação nativa com ocupações muito adensadas, como no caso dos bairros Itararé (parte), São João, Santa Isabel, Vale Quem Tem e Uruguai, praticamente ocupados por residências. A sub-bacia PD11 localiza-se na porção leste da cidade de Teresina, tendo suas coordenadas demonstradas na (figura 16), em uma região de gradiente topográfico íngreme, com cotas que variam dos 198 m junto à cabeceira, aos 54 m em sua foz (TERESINA, 2012).

Em estudo realizado por (LIMA, 2016), a autora descreve o formato da bacia PD11 como sendo triangular com relativa dificuldade de escoamento devido a saída estreitada de material.

Figura 16: Mapa de Identificação da Microbacia de Estudo.



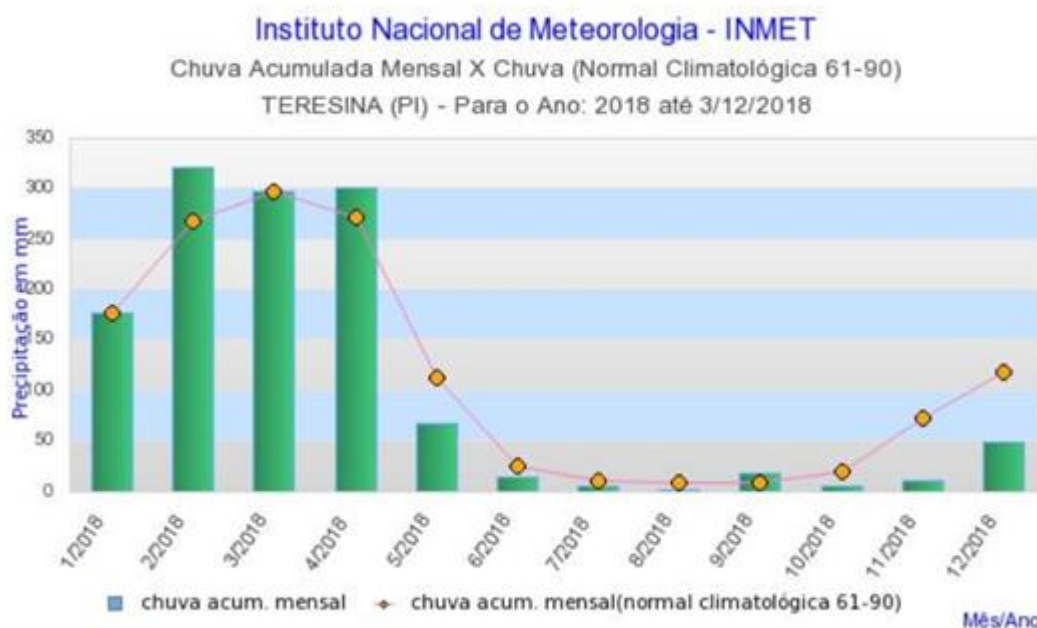
Fonte: Autor (2019).

4.3 Clima

Teresina possui o clima sub-úmido, com duas estações características, sendo que, o período das chuvas é até 6 (seis) meses, sendo os meses de junho a agosto o clima começa a ficar mais seco, podendo começar a ocorrer algumas pancadas de chuva a partir de novembro (figura 17). Segundo Lima, (2011);

Teresina é uma área de clima sub-úmido, com médias anuais de precipitação acima de 1.000 mm anuais, concentradas em cinco a seis meses do ano, e o regime de chuvas apresenta como sendo concentrado, com chuvas torrenciais de até 100 mm em poucas horas, e com totais pluviométricos anuais distribuídos em poucos meses, confere um alto poder de erosividade nessa região (LIMA, 2011).

Figura 17: Distribuição pluviométrica no ano de 2018.



Fonte: INMET (2018).

4.4 Solos

Teresina apresenta dois tipos de solos predominantes. Na área urbana prevalece o tipo Latossolo Amarelo. Esse solo possui cor, textura e estrutura relativamente uniformes, profundos e muito profundos, bem drenados e com textura principalmente argilosa e muito argilosa, (TERESINA, 2017).

4.5 METODOLOGIA

Para a realização deste estudo foi adotado um método de análise sistêmica, a qual considera que todos os elementos estão conectados e que “A ação de um sub-sistema pode provocar uma reação em outro sub-sistema, direta ou indiretamente que por sua vez recebe influência de outro sub-sistema de seus elementos ou de outro elemento” (FLAMARION, 2008, p.128). Segundo Lima (2016) a abordagem sistêmica ou geossistemas serve de embasamento especialmente para fins de planejamento territorial, e destaca a importância de se incluir as variáveis como o uso e ocupação do solo para o estudo dos sistemas naturais.

De natureza aplicada, porque objetiva a geração de conhecimento para aplicações práticas dirigidos à solução dos problemas relacionados a áreas de estudo. É abordagem qualitativa que envolva as seguintes etapas: levantamento bibliográfico sobre o tema, e obtenção de informações encontradas no site da PMT.

4.6 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

O procedimento metodológico foi feito da seguinte forma:

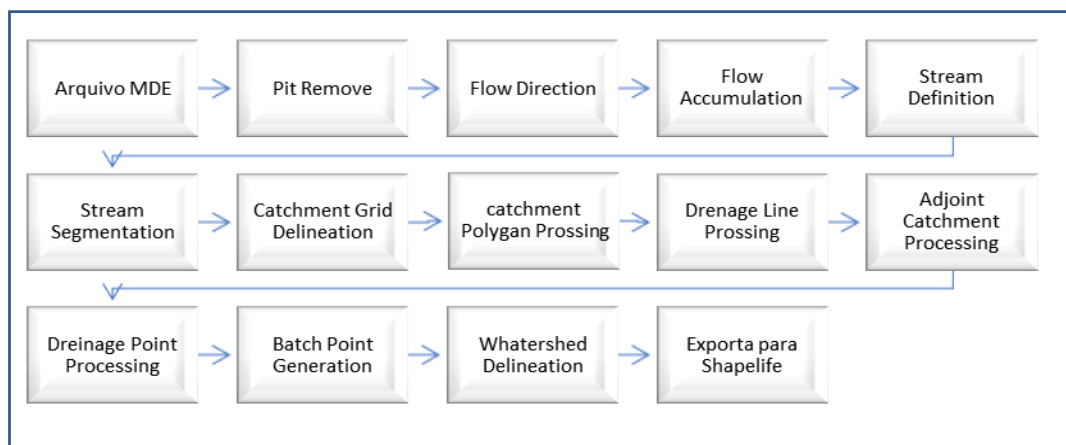
- Primeiramente foram feitas revisões bibliográficas referentes ao tema de estudo em dissertações, artigos científicos, revistas, livros e outros, tendo como foco os principais pontos “bacias hidrográficas, simulações hidrológicas, controle de inundações e alagamento urbano”, no intuito de obter uma base teórica para a realização do estudo;
- Delimitar a microbacia de interesse utilizando softwares de geoprocessamento e imagens raster MDE, que possibilita a modelagem da superfície terrestre;
- Mapear os diferentes usos do solo utilizando software de geoprocessamento;
- Realizar a modelagem hidrológica de acordo com os dados de uso e ocupação do solo.

4.6.1 Delimitação da Microbacia

Para possibilitar a extração da sub-bacia hidrográfica foi utilizado Modelos Digitais de Elevação (MDE) derivados da imagem SRTM, obtidos no site do Topodata (<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>). A cena utilizada foi a identificada com o código de 05S435ZN. Após baixar o arquivo o mesmo foi processado utilizando o programa

QGIS versão 2.18.19 (https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html). O processo de tratamento da imagem está descrito na (figura 18).

Figura 18: Fluxograma do processo de tratamento e delimitação de Bacias Hidrográficas no QGIS Versão 2.18.1.

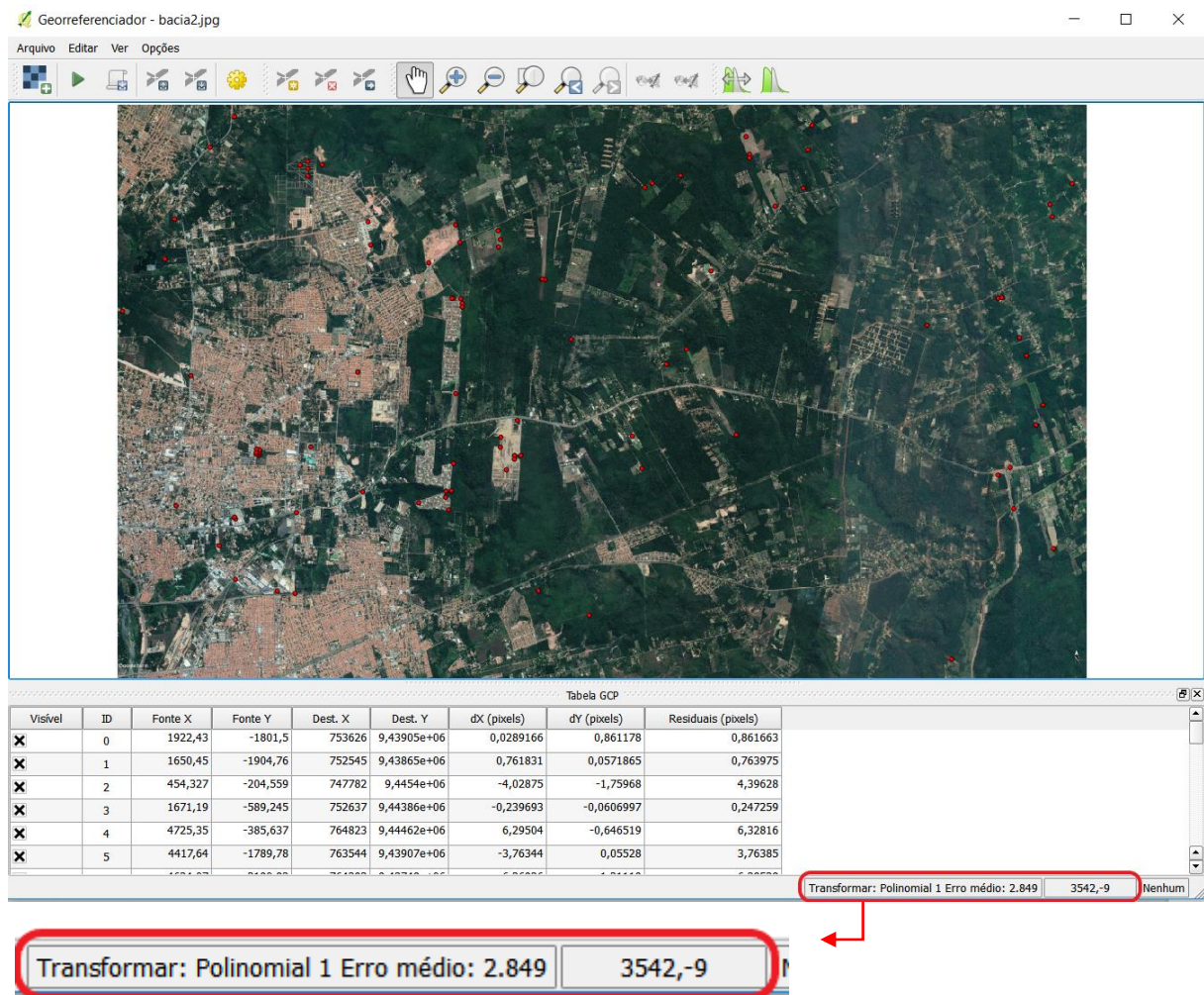


Fonte: Autor (2019).

4.6.2 Mapear os Diferentes Usos do Solo na Área de Estudo

Para a realização do mapeamento foram coletadas imagens do Google Earth Pro, como as imagens não eram georreferenciadas, tornou-se necessário fazer o georreferenciamento da mesma utilizando o plug georreferenciado, a precisão do georreferenciamento foi de 2.849 como pode ser visto na (figura 19).

Figura 19: Imagem da interfase do georreferenciado e precisão do georreferenciamento.



Fonte: Autor, 2019.

Após georreferenciar a imagem é possível executar o processo de mapeamento, que neste caso será feito através do modelo supervisionado, utilizando a ferramenta complementar do QGIS, Semi-Automatic Classification Plugin, na (figura 20) é possível visualizar suas características.

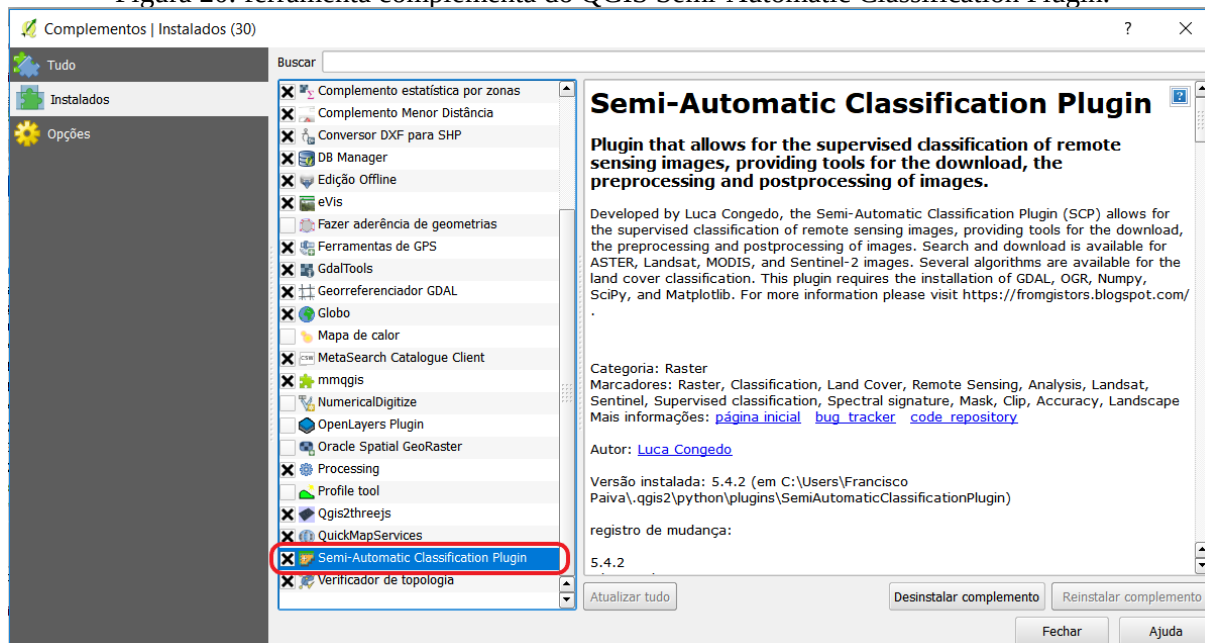
Araújo (2015) destaca em seu tutorial de como usar o plugin que:

O Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) é um complemento desenvolvido para o QGIS que possibilita a classificação pixel a pixel semi-automática ou supervisionada de imagens.

As ferramentas disponíveis realizam o pré-processamento de imagens, o pós-processamento de classificações e álgebras de mapas. Com o SCP é possível criar áreas amostrais de forma rápida, denominadas de ROIs (Regions of Interest), as quais são salvas em formato shape. As assinaturas espectrais são

calculadas automaticamente e podem ser visualizadas graficamente no histograma. Também podem ser calculadas as distâncias espectrais entre as assinaturas (ARAÚJO. 2015).

Figura 20: ferramenta complementa do QGIS Semi-Automatic Classification Plugin.



Fonte: Autor, 2019.

Para esse plugin funcionar é necessário a definição de classes de cobertura e posteriormente as amostras correspondentes a cada uma delas para o algoritmo poder reconhecer as assinaturas de cada pixel. As classes escolhidas para esta finalidade foram: vegetação densa, campestre, urbanizado e solo exposto.

Vegetação densa: é caracterizada como vegetação com cobertura superior contínua, apresentado assim boa cobertura do solo;

Campestre: caracteriza-se como vegetação menos densa e com maior predominância de gramíneas. Lima (2016) descreve como sendo “vegetação fisionomicamente bem diversa da florestal, ou seja, aquelas que se caracterizam por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso”;

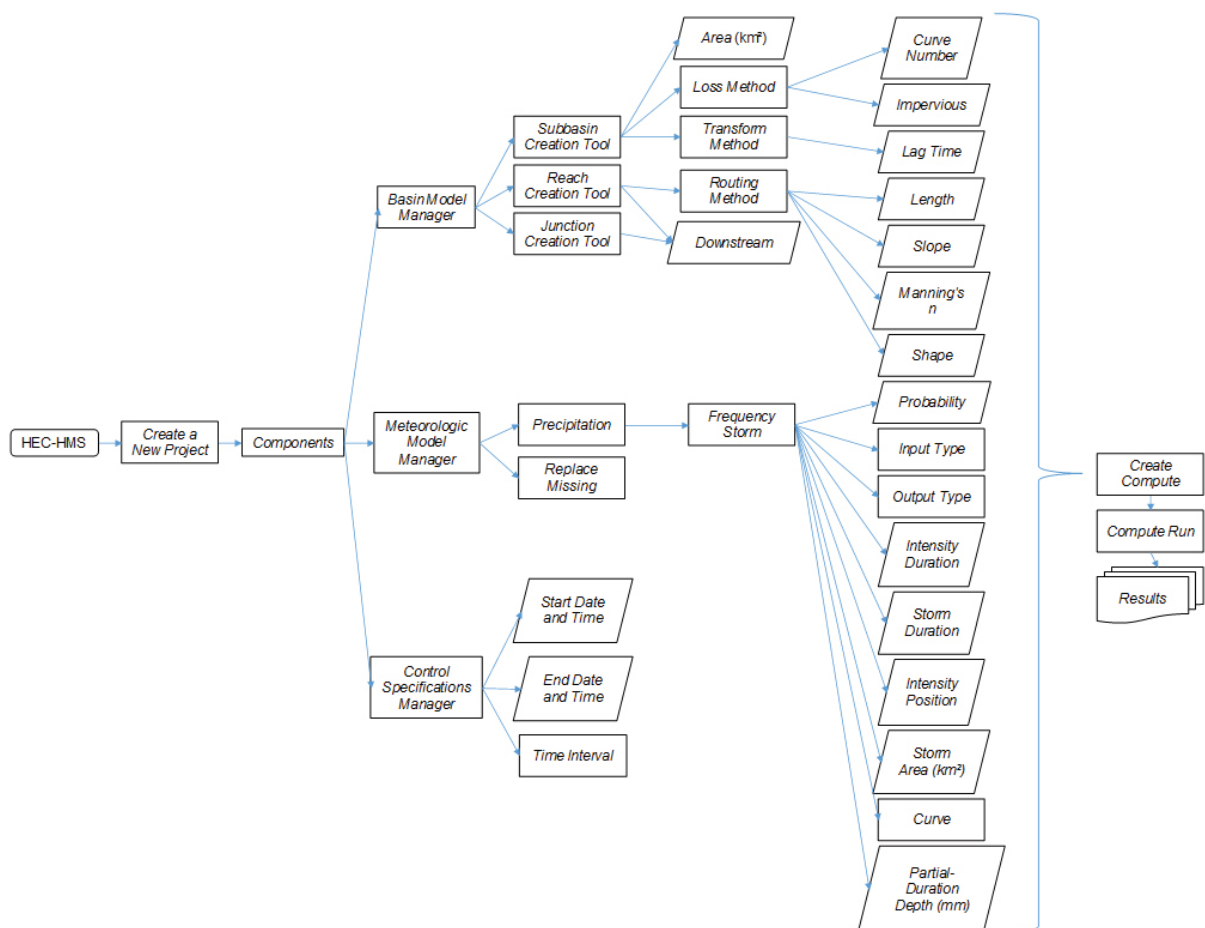
Solo exposto: solo sem cobertura, sendo o mesmo exposto diretamente as condições intempéricas, e por último; área urbanizada: caracterizando-se como toda a área com infraestrutura como residências e ruas asfaltadas que possibilita a impermeabilização do solo.

4.6.3 Simulação do Modelo Hidrológico da Bacia

Para realizar a simulação hidrológica com o intuito de identificar a vazão de pico da bacia hidrográfica, foi utilizado o software HEC-HMS versão 4.3. Este programa computacional inclui muitos procedimentos tradicionais de análise hidrológica, como infiltração de eventos, hidrogramas unitários e roteamento hidrológico. E podem ser usados em conjunto com outros softwares para estudos de disponibilidade de água, drenagem urbana, previsão de vazão, impacto de urbanização futura, projeto de vertedouros de reservatórios, redução de danos por inundação, regulação de várzea e operação de sistemas (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>, 2019).

Para realizar a simulação o software conta com diferentes metodologias de cálculos e parâmetros, como pode ser visto na (figura 21).

Figura 21: fluxograma dos parâmetros disponíveis para a simulação no HEC-HMS.



Fonte: SOUZA (2017).

Como já descrito neste estudo, e com base no método recomendado pelo manual de drenagem de Teresina, para a transformação da precipitação em vazão foi adotado o método do SCS, com propagação superficial utilizando o hidrograma unitário triangular.

Para a determinação do CN, além do uso e cobertura do solo, foi preciso determinar a classe do mesmo, levando em consideração que, as classificações de solos foram feitas nos Estados Unidos, sendo a mesma diferentes da classificação brasileira, ou seja, há uma pequena dificuldade para se utilizar os dados de classificação para a determinação do CN, no entanto para resolver este problema as equipes técnicas responsáveis pelo plano de drenagem de Teresina, relacionaram as classificações de solos do modelo SCS com a classificação brasileira como demonstrado na tabela 2, tornando possível determinar um coeficiente mais preciso para a bacia.

Tabela 2: Conversão entre os tipos de solos da Classificação Brasileira e os tipos de Solos definidos pelos grupos do SCS (Adaptado de Sartori *et al.*, 2006).

TIPO DE SOLO - CLASSIFICAÇÃO BRASILEIRA	TIPO DE SOLO HIDROLÓGICO – SCS
LATOSSOLO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, LATOSSOLO VERMELHO, ambos de textura argilosa ou muito argilosa e com alta macroporosidade; LATOSSOLO AMARELO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial não arenoso.	Grupo Hidrológico A
LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSOLO VERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de textura arenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.	Grupo Hidrológico B
ARGISSOLO pouco profundo, mas não apresentando mudança textural abrupta ou ARGISSOLO VERMELHO, ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos profundos e apresentando mudança textural abrupta; CAMBISSOLO de textura média e CAMBISSOLO HÁPLICO ou HÚMICO, mas com características físicas semelhantes aos LATOSSOLOS (latossólico); ESPODOSSOLO FERROCÁRBICO; NEOSSOLO FLÚVICO.	Grupo Hidrológico C

NEOSSOLO LITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLOREAMENTOS DE ROCHA; Demais CAMBISSOLOS que não se enquadram no Grupo C; ARGISSOLO VERMELHO AMARELO e ARGISSOLO AMARELO, ambos pouco profundos e associados à mudança textural abrupta.	Grupo Hidrológico D
---	---------------------

Fonte: Teresina (2012).

Utilizando-se do tipo de solo e dos dados de cobertura, será possível determinar o CN da bacia hidrográfica, tendo como auxílio a tabela com os valores já determinado para cada cobertura de solo de acordo com a (figura 11).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização da Cobertura da Bacia Hidrográfica

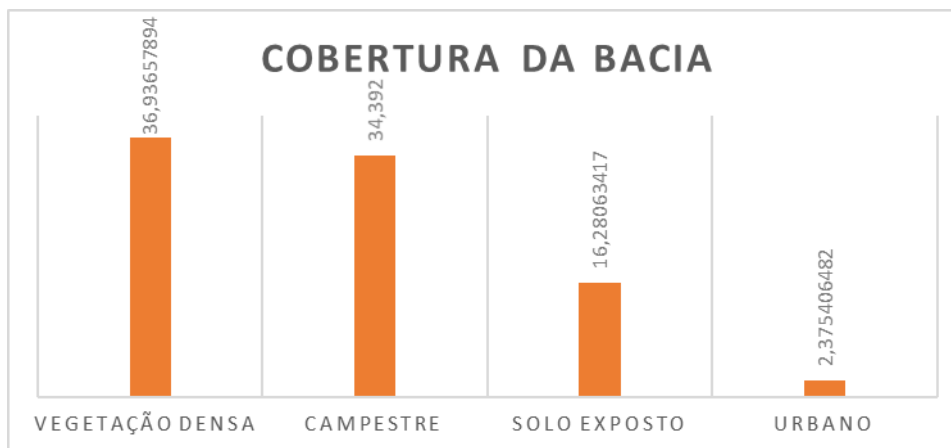
A partir dos processos caracterizado no item 4.6.1 e 4.6.2 possibilitou a elaboração do mapa de uso e ocupação da bacia como pode ser visualizado na (figura 22). Após a classificação da imagem a mesma foi transformada em vetor para ser possível calcular a área de cada classe. Com a imagem vetorizada foi feito a exportação dos dados da tabela de atributos contendo as áreas de cada classe para o Excel versão 2016, ferramenta do sistema operacional Windows 10. Os dados obtidos podem ser visualizados na tabela 3 e gráfico 1.

Tabela 3: Dados de cobertura espacial das 4 (quatro) classes.

Dados da Cobertura da Bacia Hidrográfica					
	Vegetação Densa	Campestre e gramíneas	Solo Exposto	Urbano	Total geral
km ²	36,93	34,39	16,28	2,37	89,98
%	41	38	18	3	100

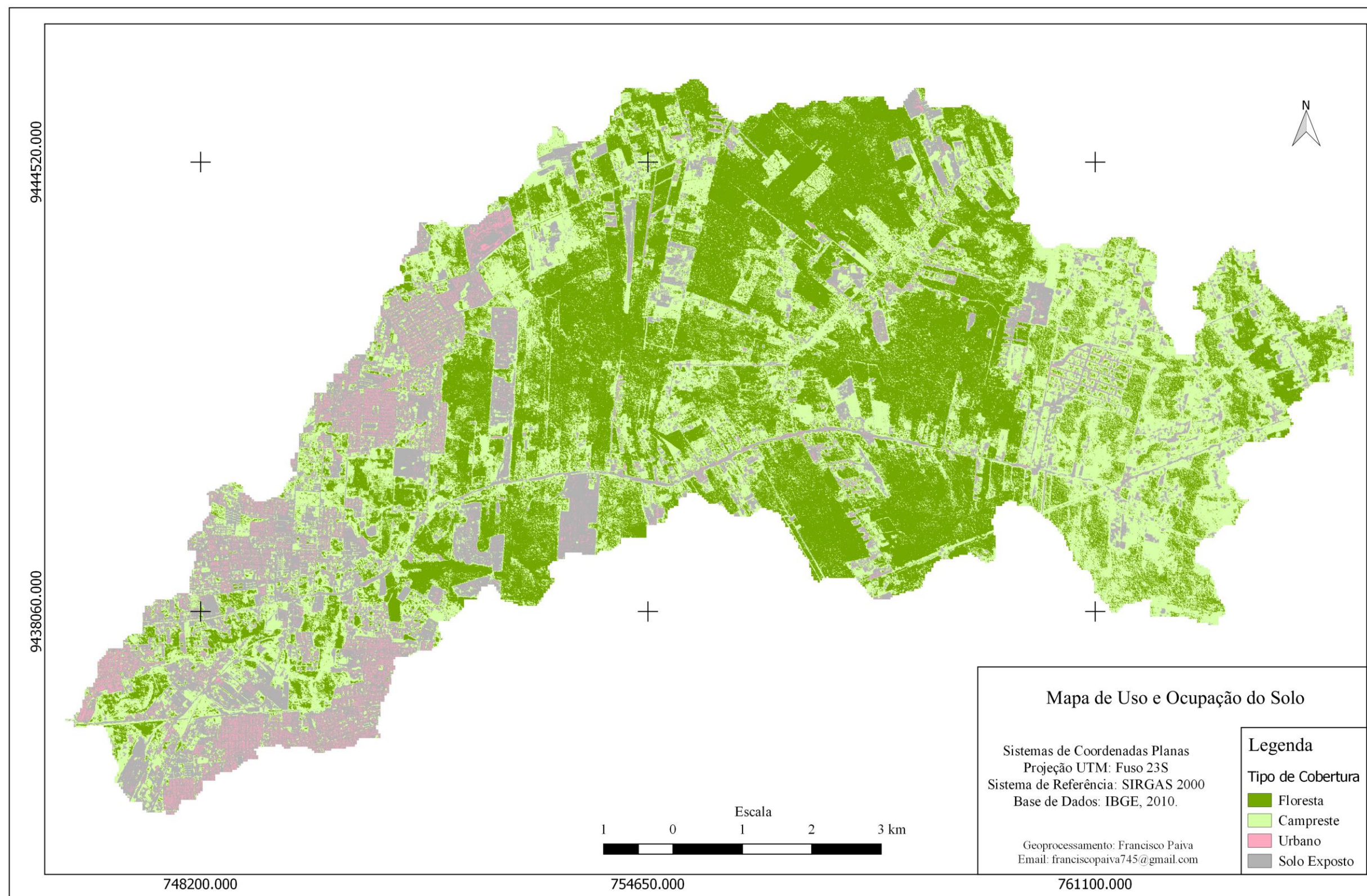
Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 1: Cobertura da Bacia por km².



Fonte: Autor, 2019.

Figura 22: Mapa de uso e ocupação do solo.



Fonte: Autor (2019).

Após o mapeamento geral a bacia hidrográfica foi subdividida em 10 (Dez) sub-bacias como pode ser visto na (figura 23), tendo como principal finalidade uma melhor identificação dos parâmetros CN.

Para se determina o CN foi utilizado a tabela com os valores já especificados, vistos na figura 10. Para a determinação da classe de solo o plano de drenagem urbana de Teresina (PMT, 2012) destaca que a bacia denominada de PD11 tem sua totalidade de solo da classe B, a partir destes dados foi feito uma média aritmética ponderada, de acordo com a equação 4, para determinar os CN de cada sub-bacia. Após este processo foi possível relacionar toda a cobertura com um CN específico, como pode ser visto na Tabela 4.

$$CN = \frac{(CN1 * A1) + (CN2 * A2)}{100} \quad \text{Equação (4)}$$

Sendo que:

CN1= é o valor encontrado na bacia

A1= é a porcentagem da área representada pelo CN1

Tabela 4: Especificação dos CN para cada bacia hidrográficas.

DADOS DA COBERTURA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS				
SUB-BACIAS	ÁREA EM KM ²	COBERTURA	DADOS DE COBERTURA EM PORCENTAGEM (%)	CN
Bacia 1	13,41	Vegetação Densa	12	81
		Campestre e gramíneas	33	
		Solo exposto/Urbano	55	
Bacia 2	2,38	Vegetação Densa	15	80
		Campestre e gramíneas	39	
		Solo exposto/Urbano	46	
Bacia 3	12,33	Vegetação Densa	48	64
		Campestre e gramíneas	35	
		Solo exposto/Urbano	17	
Bacia 4	6,57	Vegetação Densa	20	66
		Campestre e gramíneas	31	
		Solo exposto/Urbano	42	
Bacia 5	6,28	Vegetação Densa	49	64
		Campestre e gramíneas	39	
		Solo exposto/Urbano	12	
Bacia 6	4,21	Vegetação Densa	67	58
		Campestre e gramíneas	33	
		Solo exposto/Urbano	7	

Bacia 7	17,22	Vegetação Densa	60	62
		Campestre e gramíneas	33	
		Solo exposto/Urbano	7	
Bacia 8	9,51	Vegetação Densa	65	61
		Campestre e gramíneas	28	
		Solo exposto/Urbano	7	
Bacia 9	10,25	Vegetação Densa	15	67
		Campestre e gramíneas	40	
		Solo exposto/Urbano	45	
Bacia 10	9,63	Vegetação Densa	30	62
		Campestre e gramíneas	58	
		Solo exposto/Urbano	12	

Fonte: Autor (2019).

Com estes dados possibilitou-se extrair a média para o CN geral, de acordo com a equação 5.

$$CN = \frac{(CN1+CN2+CN3+...CN10)}{10} \quad \text{Equação (5)}$$

Após a delimitação da bacia e mapeamento do uso e ocupação, foi possível identificar outros parâmetros importantes para a simulação hidrológica da mesma, são eles:

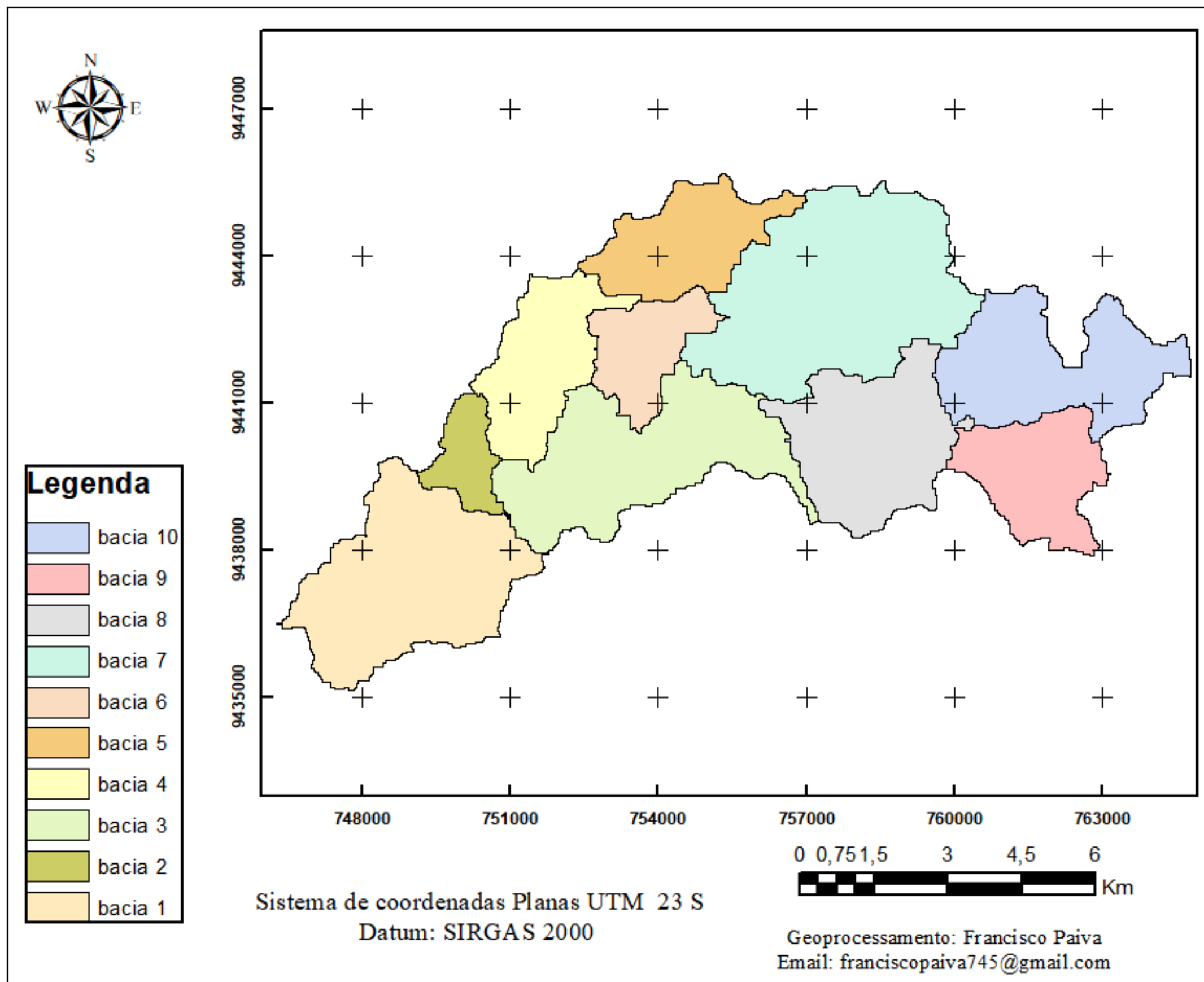
- Área de Drenagem da Bacia Hidrográfica, em km² (A);
- Comprimento do talvegue principal (m) – L;
- Declividade da bacia (m/m) – i;
- Desnível (m) – H, todos demonstrados na tabela 5.

Tabela 5: Dados físicos da bacia Hidrográfica.

Bacia Hidrográfica Grande	
Características Físicas	Valores
Área (m ²) - A	88873530,81
Perímetro (m)	79516,08
Comprimento do talvegue principal (m) - L	24880,81
Comprimento do talvegue de montante para jusante em linha reta (m) - Lt	19085,50
Cota de montante (m) - Cm	194,00
Cota de jusante (m) - Cj	64,00
Desnível (m) - H	130,00
Declividade da bacia (m/m) - i	0,005
CN médio	66

Fonte: Autor (2019).

Figura 23: Mapa com a delimitação das 10 (Dez) sub-bacias hidrográficas.



Fonte: Autor (2019).

5.2 SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA

Para fazer a simulação foi especificado tempos de retorno de 10 (dez), 20 (vinte) e 50 (cinquenta) anos, de acordo com o (DNIT, 2005, p.19) “Geralmente, os períodos de recorrência normalmente adotados no caso de bueiros são de 10 a 20 anos e, para as pontes, definem-se tempos de recorrência de 50 a 100 anos”. No entanto a mesma vai depender dos objetivos do estudo. O (DNIT, 2005, p.19) também define tempo de retorno/recorrência “[...] refere ao espaço de tempo em anos onde provavelmente ocorrerá um fenômeno de grande magnitude, pelo menos uma vez”. E o tempo de concentração foi feito com base na equação de Kirpich-modificada, sendo a mesma exposta na equação 6.

Segundo o (DNIT, 2005)

Estudos em bacias médias e grandes, com dados de enchentes observadas, demonstraram que a aplicação do hidrograma unitário triangular do U.S. Soil Conservation Service fornece resultados pertinentes às observações, se forem adotados tempos de concentração 50% maiores do que os calculados pela expressão proposta por KIRPICH (DNIT, 2005, p.86).

$$T_c = 1,42 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385} \quad \text{Equação (6)}$$

sendo:

TC = tempo de concentração, em horas;

L = comprimento do curso d'água, em km; e

H = desnível máximo, em m.

O (DNIT, 2005) relata que

Essa fórmula fornece velocidades próximas da média de todas as expressões analisadas. A velocidade média para as bacias pequenas resultou em 4,0 km/h e para as bacias maiores em 4,8 km/h, indicando sua aplicação para uma grande faixa de áreas (DNIT, 2005, p.86).

A distribuição temporal dos dados de precipitação foi elaborada com base na figura 12. Sendo que, o tempo de concentração encontrado para a bacia foi de 8 horas, e com distribuição da precipitação de 8,5 horas, tendo um intervalo entre blocos de 15 minutos, os dados da distribuição temporal de chuva para o Tr de 10 (Dez) anos podem ser vistos na tabela 6.

Tabela 6: Dados de precipitação para o programa HEC-HMS.

COLUNA 1	COLUNA 2	COLUNA 3	COLUNA 4	COLUNA 5	COLUNA 6	COLUNA 7
Tempo (min)	I (1) (mm/h)	P _{acum} (2) (mm)	P _{desac} (3) (mm)	Ordem Decrescente	Ordem Alternada	P _{rearr} (4) (mm)
15	161,61	40,40	40,40	1°	33°	1,17
30	113,83	56,91	16,51	2°	31°	1,23
45	89,77	67,33	10,41	3°	29°	1,30
60	74,99	74,99	7,67	4°	27°	1,37
75	64,88	81,10	6,11	5°	25°	1,46
90	57,48	86,22	5,11	6°	23°	1,57
105	51,79	90,63	4,41	7°	21°	1,69
120	47,26	94,53	3,90	8°	19°	1,83
135	43,57	98,03	3,50	9°	17°	2,01
150	40,48	101,21	3,18	10°	15°	2,24
165	37,87	104,14	2,92	11°	13°	2,53
180	35,62	106,85	2,71	12°	11°	2,92
195	33,65	109,37	2,53	13°	9°	3,50
210	31,93	111,74	2,37	14°	7°	4,41
225	30,39	113,98	2,24	15°	5°	6,11
240	29,02	116,10	2,12	16°	3°	10,41
255	27,79	118,11	2,01	17°	1°	40,40
270	26,67	120,02	1,92	18°	2°	16,51
285	25,65	121,86	1,83	19°	4°	7,67
300	24,72	123,61	1,76	20°	6°	5,11
315	23,87	125,30	1,69	21°	8°	3,90
330	23,08	126,92	1,62	22°	10°	3,18
345	22,35	128,49	1,57	23°	12°	2,71
360	21,67	130,00	1,51	24°	14°	2,37
375	21,03	131,46	1,46	25°	16°	2,12
390	20,44	132,88	1,42	26°	18°	1,92
405	19,89	134,25	1,37	27°	20°	1,76
420	19,37	135,59	1,33	28°	22°	1,62
435	18,88	136,89	1,30	29°	24°	1,51
450	18,42	138,15	1,26	30°	26°	1,42
465	17,98	139,38	1,23	31°	28°	1,33
480	17,57	140,58	1,20	32°	30°	1,26
495	17,18	141,75	1,17	33°	32°	1,20
510	16,81	142,89	1,14	34°	34°	1,14

Fonte: Autor (2019).

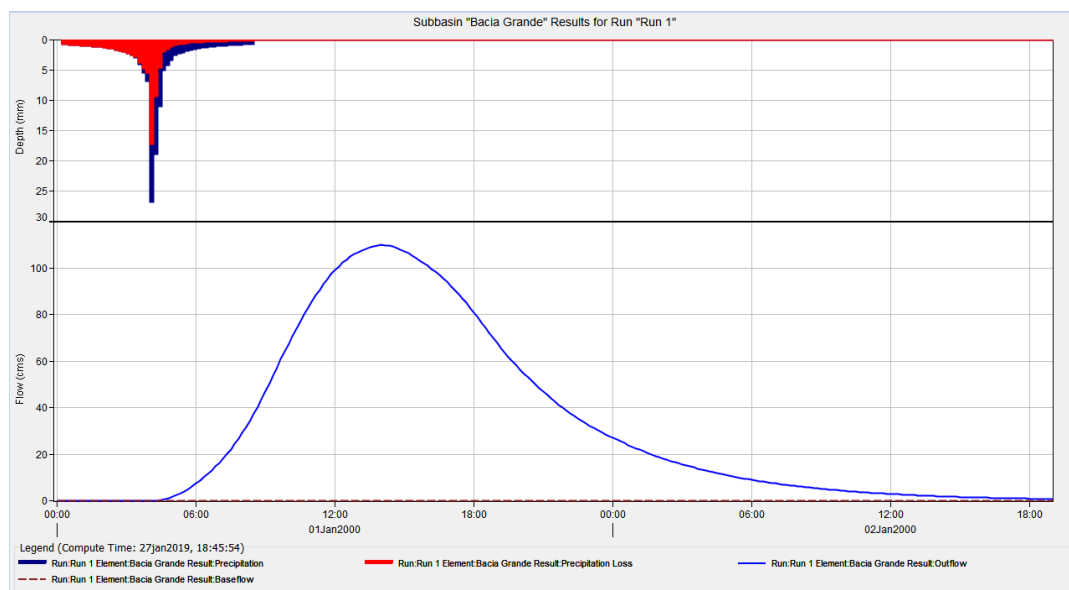
Para os tempos de retorno especificado anteriormente foi encontrado os valores de vazão de pico de acordo com a tabela 7, e o hidrograma expondo os dados de infiltração, escoamento e vazão de pico para o período de 10, 20 e 50 anos.

Tabela 7: Vazão máxima pelo método SCS.

RESULTADOS		
BACIA GRANDE	TR ANOS	VAZÃO DE PICO M ³ /s
	1	46,1
	2	60,1
	5	83,5
	10	110
	20	137,1
	50	180,5

Fonte: Autor (2019).

Figura 24: Hidrograma encontrado para o Tr de 10 anos.

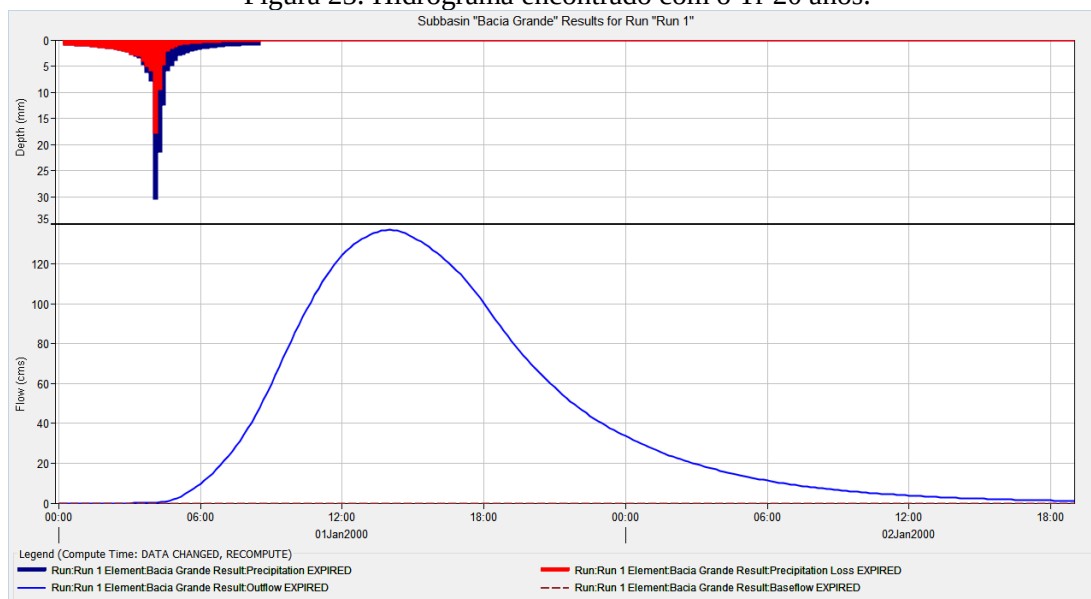


Fonte: Autor (2019).

Para o tempo de recorrência de 10 anos nota-se que, nas primeiras horas de chuva não teve escoamento superficial, sendo esse período apenas de infiltração no solo, representado em vermelho na figura 24, mas no momento que se aproxima das 6 horas de chuva o solo começa a se saturar, dando início ao escoamento superficial, representado em azul, o mesmo tem um aumento considerável, e quando chega às 12 horas, já apresenta uma vazão de 100 m³/s, sendo neste período próximo ao horário onde a vazão alcança seu maior pico, das 12 às

18 a mesma alcança seu pico e logo após começa a regredir com um valor de $80 \text{ m}^3/\text{s}$ às 18 horas e de maneira mais suave quando chega as 12 horas do dia 2, ou seja, para que todo o escoamento da bacia fosse representado na figura 25 foi necessário considerar um tempo de monitoramento maior que um dia.

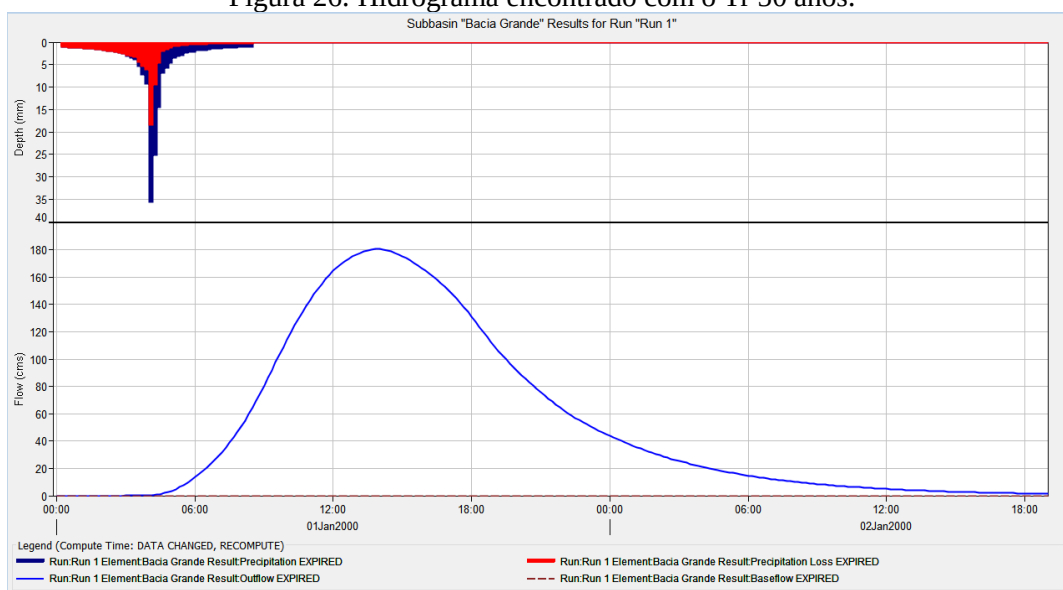
Figura 25: Hidrograma encontrado com o Tr 20 anos.



Fonte: Autor (2019).

A modelagem feita para o tempo de retorno de 20 anos notou-se um aumento considerável na vazão de pico, no entanto, como as características de solo eram as mesmas, teve o mesmo horário da anterior no processo de infiltração e escoamento superficial, porém as 12 horas do dia (01jan) é possível visualizar uma vazão maior que $120 \text{ m}^3/\text{s}$ mais de $20 \text{ m}^3/\text{s}$ se formos comparar com a anterior, representando assim uma vazão de pico maior em menor espaço de tempo.

Figura 26: Hidrograma encontrado com o Tr 50 anos.

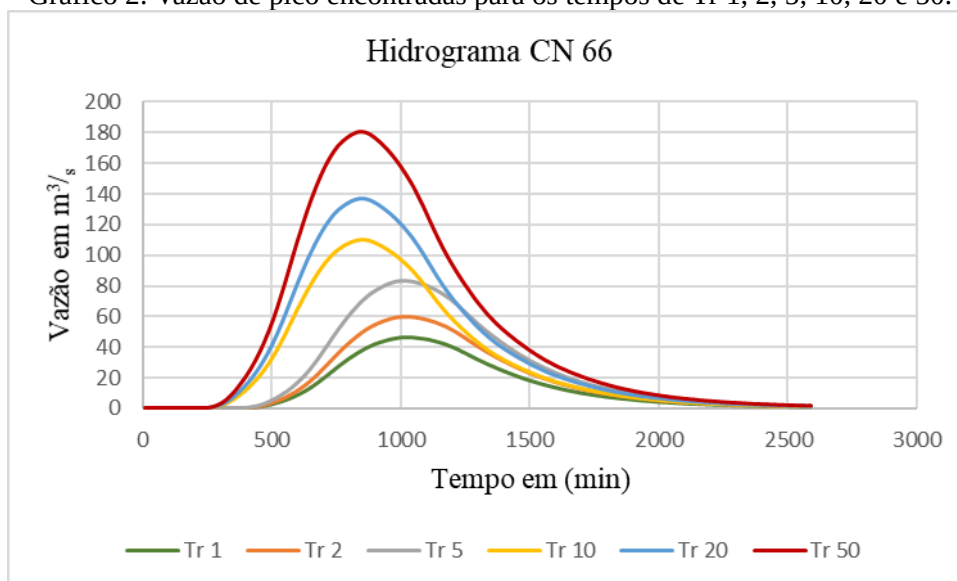


Fonte: Autor (2019).

Na simulação para o tempo de recorrência de 50, como é a que apresenta uma situação mais crítica, foi possível identificar que, nas mesma 12 horas de chuva representado anteriormente a vazão já foi altíssima, sendo representado no hidrograma da (figura 26) uma vazão maior que 160 m³/s, e depois das 18 horas ainda apresenta-se vazão maior que a de tempo de recorrência de 10 anos.

No hidrograma unitário foi possível ver que, nas primeiras horas da precipitação, grande parte foi infiltrada e retida pelo solo, sendo às perdas iniciais representadas em vermelho e na medida que o solo foi se saturando, deu-se início ao processo de escoamento, sendo o mesmo representado em azul. Após a simulação com Tr 10, 20 e 50 anos, foram feitas outras simulações com o intuito de identificar as vazões de pico para períodos menores, o resultado das mesmas pode ser visualizado no gráfico 2. Relacionando todos os dados de vazão no mesmo gráfico foi possível visualizar que, a partir do Tr de 10 anos teve um aumento considerável na vazão de pico.

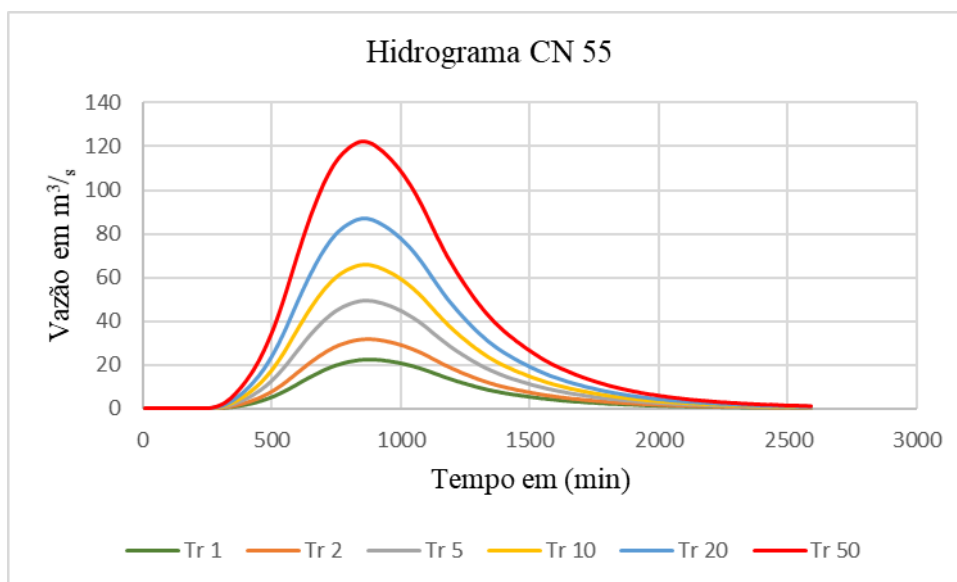
Gráfico 2: Vazão de pico encontradas para os tempos de Tr 1, 2, 5, 10, 20 e 50.



Fonte: Autor (2019).

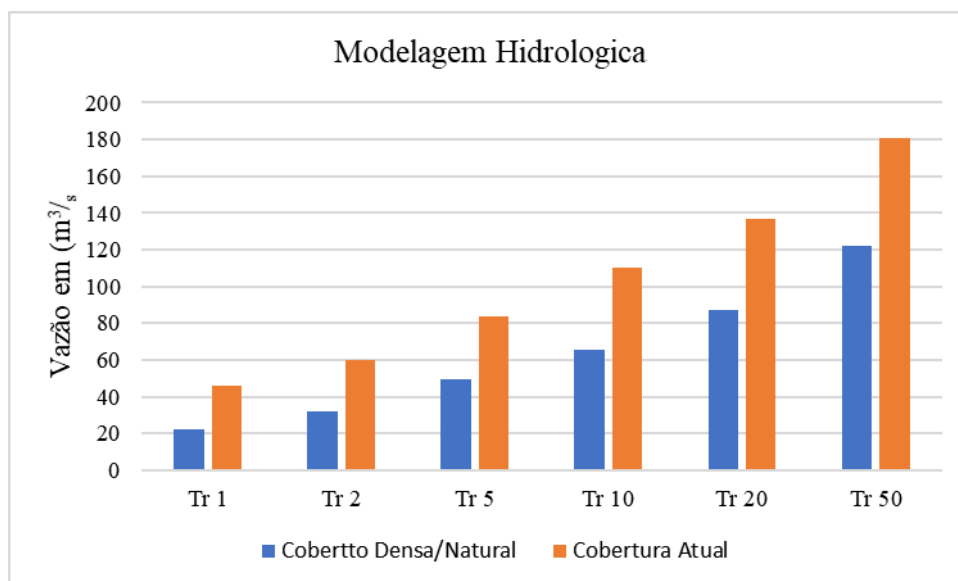
Depois da simulação com os dados atuais de cobertura do solo, fizemos uma modelagem adotando-se uma cobertura arbustiva densa/vegetação nativa com CN de 55, com o intuito de identificar o real impacto do desmatamento na vazão de pico na microbacia hidrográfica. Os valores para os senários são vistos no gráfico 3 e 4.

Gráfico 3: Resultados da modelagem para cobertura com vegetação nativa.



Fonte: Autor (2019).

Gráfico 4: Comparação entre vazão de pico para um cenário de superfície com vegetação nativa preservada e cenário atual.



Fonte: Autor (2019).

Nota-se que as vazões de pico para os cenários de 1 ano são menores e se distribui em um tempo maior, e as vazões para o cenário de 10, 20 e 50 anos são mais críticas, apresentando valores elevados e em menor espaço de tempo. Após as simulações comparativas entre coberturas do solo natural e cobertura atual, percebe-se a real importância da vegetação para o equilíbrio e redução das vazões de pico para as bacias urbanas e suburbana, com a comparação percebemos que em alguns casos a vazão de pico teve um acréscimo de até 58,3 m³/s, outro fator importante é o tempo necessário para se atingir o pico máximo, podemos perceber no gráfico 3 que existe uma certa uniformidade se compararmos com a situação existente no gráfico 2. Podemos afirmar que, para o cenário atual as vazões de pico se apresenta com valores bastante elevados se formos comparar com a capacidade de suporte do riacho Itararé e até mesmo para algumas estruturas urbanas como por exemplo os bueiros e pistas de rolamento encontradas nas proximidades da Hot Sat (figura 27) e condomínio Mirante do Lago (figura 28), sendo este último praticamente dentro do leito do riacho, na (figura 28) é possível ver também dois bueiros duplos identificados com o círculo em vermelho, no entanto os mesmos não suportam a demanda existente no local como pode ser visto na (figura 29).

Figura 27: Ponto com vulnerabilidade a alagamento na BR 343.



Fonte: Autor (2019).

Figura 28: Ponto vulnerável a alagamento entre o condomínio Mirante do Lago e Pousada Gurupi.



Fonte: Adaptado de Sales (2019).

Com a construção do condomínio Mirante do Lago e Pousada Gurupi o canal natural teve seu curso alterado e canalizado para dar lugar a pista de rolamento, segundo Sales, (2019) “houve também a redução da área da bacia de acomodação, detenção e/ou

amortecimento, com isso o volume de água que se acomodava e tinha seu amortecimento nesses locais passou a gerar problemas de inundações” como pode ser visto na (figura 29).

Figura 29: Alagamento na BR 343 próximos ao condomínio Mirante do Lago e Pousada Gurupi.



Fonte: Rodrigues (2017).

Podemos apontar também outros pontos que, considerando a extensão da microbacia e o nível de interferência antrópicas no córrego, também apresentam vulnerabilidade, são eles: loteamento Árvore Verde encontrado nas coordenadas planas UTM 752005.566 E, 9442709.955 S. A montante deste ponto encontra-se o condomínio (ALDEBARAM LESTE), ainda em fase de construção (figura 30).

Figura 30: condomínio ALDEBARAM LESTE.



Fonte: Autor (2019).

Neste local foi possível visualizar que o condomínio foi construído pegando boa parte da extensão do córrego encontrado entre as microbacias 4 e 5, canalizando assim todo o canal natural na sua área, na (figura 31) é possível visualizar um bueiro duplo de aproximadamente 1300 milímetros de diâmetros localizado nas coordenadas planas UTM 752686.218 E,9443712.302 S a montante do condomínio e na (figura 32) localizada nas coordenadas 752172.690 E,9443116.372 S, encontra-se uma lagoa de retenção/retenção construída com o intuito de reduzir a vazão de pico resultante tanto da área do condomínio quanto de montante da microbacia hidrográfica.

Figura 31: Foto do bueiro encontrado no condomínio ALDEBARAM LESTE.



Fonte: Autor (2019).

Figura 32: Foto da lagoa de retenção/detenção do condomínio ALDEBARAM LESTE.



Fonte: Autor (2019).

O problema deste sistema é que, dependendo do evento climático, ele pode sobrecarregar nas primeiras chuvas, levando em consideração a grande contribuição da área, que é de aproximadamente 32,784 ha, mais a contribuição da microbacia hidrográfica de número 5, que termina concentrando toda a água de chuva neste único ponto, acarretando em sérios prejuízos para os bairros a jusante, são eles: Bairro Árvore Verde, parte sul do Bairro verde Lar, neste local foi identificado além das casas dentro do leito do riacho, ruas totalmente escavada (figura 33) por causa da água de chuva vindas de montante.

Figura 33: Foto da rua escavada no Bairro Verde Lar.



Fonte: Autor, 2019.

No bairro Novo Uruguai, principalmente entre as coordenadas UTM 751706.496 E,9441045.497 S e 751598.628 E,9440329.399 S. neste trecho foi encontrado vestígios da ocorrência de alagamento durante as chuvas, e bastante resíduos jogados dentro do leito do riacho. No bairro Uruguai nos trechos da Rua Quatro, próximo ao Bairro Novo Uruguai, e ainda no Bairro Uruguai nas coordenadas 751041.199 E,9438803.255 S e 750316.055 E,9438455.296 S, foi encontrado entre esses pontos um sistema de drenagem com o intuito de conter/deter a água que passa pelo local, mas levando em consideração os tempos de recorrência deste estudo, ele poderá sobrecarregar rapidamente, outro fator preocupante é pelo fato de o mesmo sistema direcionar a água de chuva para a pista de rolamento como pode ser visto na (figura 34 e 35).

Figura 34: Sistema de contenção / detenção de água.



Fonte: Sales (2019).

Figura 35: Trecho da rua 4 totalmente alagada no Bairro Uruguai.



Fonte: Sales (2019).

Ainda no bairro Uruguai foi identificado o local onde a água vinda do ponto citado anteriormente encontra-se com outro pequeno córrego, neste ponto, encontrado nas coordenadas 751471.470 E,9439634.777 S, é possível identificar que o córrego foi bastante comprometido por rejeitos oriundos da construção civil (figura36), aterrando assim um ponto importante para a dissipação da vazão de pico vindas de montante, neste local também identificamos que parte de um bueiro estava entupido por causa da grande quantidade de sedimentos presentes na área como pode ser visualizado na (figura 37).

Figura 36: Foto do leito do riacho e do lado direito resíduos oriundos da construção civil.



Fonte: Autor (2019).

Figura 37: Foto do bueiro parcialmente entupido.



Fonte: Autor (2019).

Depois destes locais seguimos para o condomínio Villa Imperial, na área foi possível identificar diversos pontos com presença de erosão como pode ser visto na (figura 38), sendo que, o relevo existente na região faz com que toda a águas de chuva se concentre em um único ponto, seria o “exutório” desta região, neste local estão construindo um sistema de retenção/retenção da água de chuva e também um dissipador de vazão de pico (figura 39).

Figura 38: Foto demonstrativa da erosão no condomínio Villa Imperial.



Fonte: Autor (2019).

Figura 39: Foto da construção do sistema de dissipador de vazão.



Fonte: Autor (2019).

A jusante destes pontos há outros trechos bastante importantes e que também está sofrendo interferências antrópicas, são eles: Rua Mirtis Melão nas coordenadas 750062.045 E, 9437540.166 S, neste local foi possível identificar desmatamento e aterramento do riacho em um ponto estratégico para um sistema natural de contenção / detenção de água (figura 40).

Figura 40: Trecho da rua Mirtis Melão com identificação da área com interferência antrópico.



Fonte: Sales (2019).

O próximo ponto está localizado no bairro Livramento entre as coordenadas 749254.086 E, 9437142.450 S e 748782.429 E, 9437448.827 S, na primeira coordenada está

localizado um trecho da Av. Joaquim Nelson, neste local, podemos observar a detenção das águas do canal pelo próprio aterro da Av. Joaquim Nelson, com uma visita ao local foi perceptível que o sistema de drenagem não suporta altas vazões (figura 41), acarretando na transposição das águas sob a Avenida, o que torna isto mais agravante foi a liberação para a construção do empreendimento (Soferro) no leito do canal obstruindo ainda mais a passagem das águas como pode ser visualizado na (figura 42).

Figura 41: Foto de parte do bueiro encontrado na Av. Joaquim Nelson.



Fonte: Autor (2019).

Figura 42: Trecho da Av. Joaquim Nelson totalmente inundado.



Fonte: PI (2014).

E no último ponto (748782.429 E, 9437448.827 S) é exatamente no local onde houve o rompimento da BR 343 no dia 30 de março de 2019 (figura 43). O rompimento ocorreu por causa da capacidade do sistema de drenagem, pelo fato de o mesmo não suprir a alta demanda em um curto espaço de tempo, porém, de acordo com Sales (2019) “analisando o histórico útil do bueiro ele cumpriu sua missão, pois foi construído no início dos anos 70”.

Figura 43: Foto ilustrando ponto de rompimento da BR 343.



Fonte: Autor (2019).

No bairro Recanto das Palmeiras nas coordenadas 748340.522 E,9437444.478 S, foi identificado o avanço da estrutura urbana para dentro do riacho, alterando todo o leito como pode ser visto na (figura 44), quando a BR rompeu toda esta área foi atingida diretamente pela água trazendo sérios prejuízos para a população.

Figura 44: Vista aérea do bairro Recanto das Palmeiras.



Fonte: Sales (2019).

Percebemos com este estudo que a estrutura física da microbacia hidrográfica do riacho Itararé está bastante modificada, principalmente pelo avanço da urbanização nos últimos anos. Percebe-se também a tentativa de alguns gestores de construir sistemas de retenção/retenção das águas pluviais como forma de minimizar as vazões de pico, no entanto, em alguns pontos os gestores não tiveram o cuidado de observar o cenário existente na região, como cobertura vegetal, geologia e topografia, por consequência os sistemas terminam perdendo parte de sua eficiência. Segundo (TUCCI, 2012, p.44) “os instrumentos de controle dos impactos têm se baseado em obras de custos altos, que tendem a produzir mais impactos do que estão tentando controlar [...]”.

Para evitar esse tipo de problema, Tucci, (2012) destaca que “devem ser elaborados o plano de drenagem, que busca desenvolver soluções em toda a bacia urbana e evitar projetos isolados que apenas transferem impactos”. Como forma de solucionar os problemas de inundações podemos destacar às medidas estruturais de forma extensiva, com objetivo de controlar o escoamento superficial na fonte ou próxima das fontes, buscando sempre amenizar o escoamento superficial, e a obstrução de todo o leito do riacho, já que durante a visita na região foi identificado diversas obstruções no córrego dificultando a circulação da água de forma natural, evitando assim que as estrutura de drenagem não suporte a alta demanda em pouco espaço de tempo. Sugere-se ainda as medidas não estruturais, sendo neste caso as mais relevantes e com menor custo se compararmos com as medidas estruturais, (TUCCI, 2012, p.44) cita o exemplo de Porto Alegre, que implementou uma regulamentação no ano de 2000 resultando depois de sete anos em uma redução de perdas futuras de R\$ 7 milhões/ano, podemos cita como medidas não estruturais para a área da bacia hidrográfica; delimitação das APPs preservando assim o leito do riacho, zoneamento da região com base nas normas vigentes como exemplo a Lei federal de nº 10.257/2001 que estabelece as diretrizes gerais da política urbana e Lei 6.766/79 que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano. Sendo essas medidas uma forma de se evitar a “deterioração de áreas urbanizadas e a poluição e degradação ambiental, garantindo ainda a proteção, preservação e recuperação do meio ambiente natural e construído” (BRASIL, 2001).

É muito importante frisar que, o crescimento muito rápido das estruturas urbanas sem planejamento, está modificando rapidamente os fundos de vales e as lagoas de retenção natural do córrego, sendo necessário um planejamento eficaz em curto espaço de tempo, antes que mais áreas se consolide na região. Pensando nisto (TUCCI, 2012, p.41) destaca que “os impactos futuros podem ser controlados por legislações ou regulamentações apropriadas para

às novas construções e reformas que necessitem de aprovação do sistema público”, mas que deve ser realizado com base em um mecanismo econômico que busque o equilíbrio deste sistema.

Concluimos por fim e com base em Sousa (2017) que a modelagem matemática com suas fórmulas empíricas que buscam representar matematicamente os processos envolvidos torna-se um importante instrumento para o planejamento, para se avaliar os senários tanto atuais como futuros visando ao crescimento sustentável das cidades, (LATUF, 2011, p.217) afirma que a modelagem hidrológica torna-se mais do que uma técnica hidrológica, mas uma forma de auxiliar a PNRH, por meio da possibilidade de subsidiar ações concretas, para que os gestores públicos possam ter em mãos, informações técnicas para as tomadas de decisões.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a delimitação da microbacia hidrográfica constatou-se que a mesma apresenta uma área de 88.874 km² e perímetro de aproximadamente 79.543 km. Com a elaboração do mapa de uso e ocupação do solo foi possível identificar que, 41 % da área da bacia ainda apresenta uma vegetação densa, cerca de 38% da região apresenta cobertura com características campestre arbustiva/gramíneas, e 18% é de solo exposto e urbanizado. Sendo que, a maior parte de área com a classe urbanizada e solo exposto se encontra nas microbacias 1, 2 e 4. Consequentemente essas regiões apresentam altíssima vulnerabilidade, principalmente pelo fato de que novos empreendimentos estão se consolidando na região.

Durante o mapeamento foi identificado pequenas falhas de classificação com relação a solos exposto e urbanizado, por causa das características espectrais dos pixels da imagem utilizada para o mapeamento, dificultando a diferenciação pelo algoritmo em determinados pontos. No entanto, através de observação de imagens de satélite foi possível diferenciar essas duas classes de cobertura de acordo com as subdivisões das bacias.

A utilização de técnicas de geoprocessamento para a manipulação das 4 (quatro) classes de cobertura de solo deste estudo mostrou-se como uma ferramenta bastante eficiente e com alta precisão para a determinação do CN, um importante indicador de impermeabilização do solo. De acordo com o CN, foi possível ver de imediato que, mesmo a bacia em seu todo tenha um valor médio de 66, a mesma não refrete nas microbacias 1 e 2. Sendo a microbacia 1 (um) com aproximadamente 55 % de sua área com interferências antrópicas e a microbacia 2 (dois) com aproximadamente 40 % da sua área com interferências. Possibilitando assim uma altíssima vulnerabilidade as inundações principalmente na microbacia 1, sendo que a mesma recebe toda a água escoada das microbacias de montante.

Após a simulação concluímos que, para os períodos de retorno de 1, 2, 5, 10, 20 e 50 anos as vazões de pico de acordo com a metodologia é respectivamente de 46,1; 60,1; 83,5, 110, 137,1 e 180,5 m³/s. vazões bastante altas se compararmos com as vazões encontradas para um cenário em que a vegetação se encontra preservada 22,3; 32,1; 49,3; 65,8; 87,2; 122,2. Essa comparação entre os dois cenários nos mostra a importância da vegetação para o equilíbrio do ciclo hidrológico. Levando em consideração a extensão da bacia, torna-se praticamente inviável a elaboração de medidas estruturais, próximas ao exutório/pontual, já que a vazão que chega nas proximidades desta região é bastante alta dependendo do tempo de recorrência da chuva.

Com a junção das ferramentas de geoprocessamento e modelagens hidrológicas possibilitou um amplo conhecimento acerca dos assuntos relacionados a água e ao ciclo hidrológico, a urbanização e seus efeitos, e possibilitou também a sugestões a respeito das alternativas para solucionar ou minimizar os problemas de drenagem na bacia hidrográfica de estudo. Possibilitou relacionar a cobertura do solo com o escoamento superficial da bacia hidrográfica e posteriormente os efeitos da urbanização na vazão de pico e suas possíveis soluções, cabendo neste caso ao poder público a articulação de novas medidas de mitigação, como por exemplo a aplicação das normas já existentes.

Concluimos que o uso e ocupação do solo realizado de forma inadequada atualmente pode contribuir bastante para o aumento da vazão de pico da bacia hidrográfica de estudo, mas poderá ser reduzida bastante, se as medidas proposta tanto na legislação quanto neste estudo for postas em pratica pelos gestores do município, certo que, da mesma forma ela também poderá aumentar bastante se as mesma não forem praticadas, acarretando assim diversos prejuízos socioambientais.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Lizane. **Modelos hidrológicos, tipos e aplicações mais utilizadas**. Lizane Almeida, Juan Carlos Valdés Serra2. Rev. FAE, Curitiba, v. 20, n. 1, p. 129 - 137, jan./jun. 2017.
- ARAÚJO, Gustavo Henrique de Sousa, **Gestão Ambiental de Área Degradadas**/ Gustavo Henrique de Sousa Araújo, Josimar Ribeiro de Almeida, Antonio José Teixeira Guerra. – 5º ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- ARAUJO, Classificação Supervisionada de Imagens Orbitais, semi-Automatic Classification Plugin. Mônica Pacheco de Araújo – 2015.
- BALBINOT, Rafaelo et al. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência**: Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais, Guarapuava, v. 4, n. 1, p.131-149, 28 nov. 2007.
- BRASIL. Departamento nacional de Infra-Estrutura de Transporte. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem. – 2. Ed. – Rio de Janeiro, 2005.
- BRASIL. Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, Decreto-Lei N.º 115/2010 de 22 de outubro.
- BRASIL. Ministério do Equipamento, do Planeamento e da Administração do Território Decreto-Lei nº 364/98 de 21 de novembro.
- BRASIL. Constituição (1988). Lei nº 9433, de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Brasília, DF, 2010.
- CAMPOS, J. N. B. **Lições em Modelos e Simulação Hidrológica**. Fortaleza: ASTEF/Expressão Gráfica, 2009.
- CLIOSSI, Nivaldo José. **Geologias de engenharia** / Nivaldo Clioissi. – 3. ed. – São Paulo: Oficina de Textos, 2013.

COSTA, Renato Sérgio Soares. **Riscos Socioambientais e Ocupação Irregular em Áreas de ENCHENTES nos Bairros: Olarias, Poti Velho, Alto Alegre, São Francisco e Mocambinho –Teresina (PI)**. Renato Sérgio Soares Costa Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro – SP, 2010.

Diferentes olhares sobre a geografia de Teresina-PI / Sandra Elisa Contri Pitton, Silva Aparecida Guernieri Ortigoza (Orgs.). – Rio Claro: IGCE/UNESP – Pós-Graduação em Geografia, 2011.

ESTRÊLA, Maria Clara. **Após cinco horas de interdição, trânsito na BR-343 é totalmente liberado**. 2017. Disponível em: <<https://www.portalodia.com/noticias/piaui/chuva-br-343-esta-interditada-com-4-quilometros-de-congestionamento-292986.html>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

FEAM; Fundação Estadual de Meio Ambiente, **Orientações Básicas** para drenagem urbana, Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Fundação Estadual de Meio Ambiente, Diretoria de Licenciamento de Infra-Estrutura, Divisão de Saneamento. Luiza Helena Pinto, Sérgio Avelino Pinheiro. Belo Horizonte, 2006.

FLAMARION. D. A, SILVEIRA. V. C. P, A metodologia sistêmica na geografia agrária: um estudo sobre a territorialização dos assentamentos rurais. Flamarion Dutra Alves, Vicente Celestino Pires Silveira. Sociedade & Natureza, Uberlândia, **20** (1): 125-137, jun. 2008.

FRITZEN, M; BINDA, A.L. 2011. **Alterações no ciclo hidrológico em áreas urbanas: cidades, hidrologia e impactos no ambiente**. Ateliê Geográfico. Goiânia-GO. V.5, n.3. dezembro de 2011. P.239-254.

GOMES, Danielle Gomes. **Delimitação de Bacias Hidrográficas com TaumDEM**. Processamento digital, geotecnologias e software livre. ArcGis. 2015.

GONÇALVES F. T. JC Nucci - Raega-O Espaço Geográfico em Análise, 2017 - revistas.ufpr.br.

GUSMÃO, Mariana Buarque Ribeiro de. Diretrizes para uma abordagem sistêmica de gestão das águas pluviais urbanas / Mariana Buarque Ribeiro de Gusmão. - 2016.

Instalação do TauDEM
[http://www.processamentodigital.com.br/wpcontent/uploads/2015/07/ArcGIS103_Instalacao do_TauDEM.pdf](http://www.processamentodigital.com.br/wpcontent/uploads/2015/07/ArcGIS103_Instalacao_do_TauDEM.pdf). Acesso em 31 de julho de 2019.

HEC-HMS <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>, acessado em 2 de agosto de 2019.

LATUF, Marcelo de Oliveira. **Modelagem hidrológica aplicada ao planejamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Acre** / Marcelo de Oliveira Latuf. - Presidente Prudente: [s.n], 2011.

LIMA, Aline de Araújo. **Análise ecossistêmica e gestão ambiental na cidade de Teresina-Piauí**/ Aline de Araújo Lima. -- 2016.

LIMA, I. M. M. F. O relevo de Teresina, PI: compartimentação e dinâmica atual. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, 9., Goiânia, 2011. Anais... Goiânia, 2011.

LIMA, Nathana Alcântara. **Comparação entre métodos de dimensionamento de sistemas de drenagem em aeródromos** / Nathana Alcântara Lima. São José dos Campos, 2014.

LOMBARDO, M. A. **Qualidade ambiental e planejamento urbano**. In: RIBEIRO, W.C. (Org.). Patrimônio Ambiental Brasileiro. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo; 2003.

LUO, Tianyi; MADDOCKS, Andrew; ICELAND, Charles. **Os 15 países com mais pessoas expostas às inundações causadas pelos rios**. 2015. Disponível em: <<http://wricidades.org/noticia/os-15-pa%C3%ADses-com-mais-pessoas-expostas-%C3%A0s-inunda%C3%A7%C3%B5es-causadas-pelos-rios>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE**, Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, Manuais Técnicos em Geociências número 7, **Manual Técnico de Uso da Terra** 3ª edição, 2013.

MONICA F. A. **Gestão de bacias hidrográficas**. Monica F. A. Porto e Rubem La Laina Porto. estudos avançados 22 (63), 2008.

MONTE, Kelly Rodrigues do. **Estudo comparativo entre vazões de pico calculadas pelo método racional e o método scs em bacias hidrográficas com diferentes características de tamanho, tipo de solo, uso e ocupação** / Kelly Rodrigues do Monte. – Teresina: Uninovafapi, 2018.

MOURA, Laura. **Fortes chuvas causam alagamentos em várias regiões de Teresina**. 2019. Disponível em: <<https://www.gp1.com.br/noticias/forte-chuva-causa-alagamentos-em-varias-regioes-de-teresina-430762.html>>. Acesso em: 15 fev. 2019.

PANACHUKI, Elói et al. Perdas de Solo e de Água e Infiltração de Água em Latossolo Vermelho Sob Sistemas de Manejo (. **Bras: Ci**, Dourados, v. 5, n. 1, p.1777-1785, 1 fev. 2011.

PI, G1. **Após chuva, avenida de Teresina fica alagada e trânsito é interrompido**. 2014. Disponível em: <g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2014/04/apos-chuva-avenida-de-teresina-fica-alagada-e-transito-e-interrompido.html>. Acesso em: 14 fev. 2019.

PINTO, H. L.; PINHEIRO, A. S. **Orientações básicas para drenagem urbana**. Belo Horizonte: FEAM, 2006.

REZENDE, Osvaldo M. **Manejo sustentável de águas pluviais: uso de paisagens multifuncionais em drenagem urbana para controle das inundações**. 104f. Trabalho de Conclusão de Curso. Especialização em Engenharia Urbana. Universidade Federal do Rio de Janeiro. UFRJ: Rio de Janeiro, 2010.

RODRIGUES, Bárbara; SUÊNIO, Brunno. **Chuvas causa estragos em várias regiões de Teresina**. 2017. Disponível em: <<https://www.gp1.com.br/noticias/chuva-causa-estragos-em-varias-regioes-de-teresina-408927.html>>. Acesso em: 12 fev. 2019.

Modelagem Hidrológica, disponível em <rhama.com.br/modelagem-hidrologica.html>. acessado em 05 de janeiro de 2019.

SALES, Matias Francisco Gomes de. **PROBLEMAS DE DRENAGEM URBANA EM TERESINA (ZONA LESTE / ZONA SUDESTE)**. Teresina: Video, 2019. 228 slides, color.

SANTOS, Alexandre Rosa dos, 1974- ARCGIS 9.3 total: aplicações para dados espaciais / Alexandre Rosa dos Santos, Franciane Lousada Rubini de Oliveira Louzada, Fernando Coelho Eugênio. – Alegre, ES: CAUFES, 2010.

SANTOS, A.B.; Petronzio, J.A.C. **Mapeamento de uso e ocupação do solo do município de Uberlândia-MG utilizando técnicas de Geoprocessamento**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, 15., 2011, Paraná. **Anais XV**. Curitiba: INPE, 2011. p. 6185-6192.

SANTOS, Juliano Boeck, 1971 – **Modelagem Hidrológica HEC-HMS da Bacia hidrográfica do Ribeirão Lavapés**, Botucatu – SP / Juliano Boeck Santos. – Botucatu: [5.n.], 2017.

SÃO JOSÉ DOS CAMPOS. INPE. **TOPODATA**: Mapa Índice. Disponível em: <<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 19 ago. 2019.

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Deteção de mudanças na cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Tapacurá – PE através da Análise por Componentes Principais**. Natal: Inpe, 2009. 8 p.

SOUSA, **Estudo do Software HEC-HMS para Aplicação da Modelagem Matemática Hidrológica em uma Bacia Hidrográfica**. Vitória Bittencourt de Souza¹, Ricardo Ângelo Dal Farra² Revista de Iniciação Científica da ULBRA Canoas n.15 p.116-128 2017

SOUZA, Kaíse Barbosa de. **Influência uso e ocupação do solo na vazão da Bacia do Rio Uruçuí Preto, Piauí** / Kaíse Barbosa de Souza. – 2015. 80 f.

TAMBOSI, Leandro Reverberi et al. Funções eco-hidrológicas das florestas nativas e o Código Florestal. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 29, n. 84, p.151-162, ago. 2015. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142015000200010>.

TASSI, R.; ALLASIA, D. G.; MELLER, A.; MIRANDA, T. C.; HOLZ, J.; SILVEIRA, A. L. L.. **Determinação do Parâmetro CN para Sub-bacias Urbanas do Arroio Dilúvio** – Porto Alegre/RS. In: Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste, Curitiba. 2006.

TERESINA, Prefeitura Municipal de Teresina Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação, Programa Lagoas do Norte, Acordo de Empréstimo nº 7523-BR - BIRD Plano Diretor de Drenagem Urbana de TERESINA Rev.01 Volume 25 – Tomo 01 Relatório Final julho de 2012.

TERESINA (Município), Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação, **Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina** – 2010.

TERESINA. revisão e atualização do plano diretor do município de TERESINA – PI, leitura técnica 2º produto, setembro de 2017.

TEREINA (Município). Norma nº 3.558, de 2006. REINSTITUI O PLANO DIRETOR DE TERESINA, DENOMINADO PLANO DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – TERESINA AGENDA 2015, E DÁ OUTRAS PROVIDÊNCIAS. Teresina, PI, 08 nov. 2013.

TERESINA (Município). Decreto nº 3.561, de 20 de outubro de 2006. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano do Município de Teresina e dá outras providências. **Lei Complementar Nº 3.561, de 20 de outubro de 2006**. Teresina, PI, 20 out. 2006. p. 1-17.

_____. Plano Diretor de Drenagem Urbana de Teresina – 2010. Teresina: Concremat Engenharia, 2010.

PORTO ALEGRE. Prefeitura Municipal de Porto Alegre. Plano Diretor de Drenagem Urbana Manual de Drenagem Urbana nº 1. Relator: Prefeito José Fogaça. Porto Alegre, RGS de 2005. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**: Manual de Drenagem Urbana. Porto Alegre, 2005. v. 6.

TOMAZ, Curso de Manejo de águas pluviais Capítulo 99- Método do SCS (Soil Conservation Service) para várias bacias, Engenheiro Plínio Tomaz. 17 de novembro de 2012.

TUCCI, Carlos E. M. Gestão da drenagem urbana/Carlos E. M. Tucci. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. (Textos para Discussão CEPAL-IPEA, 48). 50p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Educação para a prevenção e redução de riscos climáticos** / Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; [coordenador geral Paulo Belli Filho; autores do conteúdo: Maurício Dalpiaz Mello, Rosemy da Silva Nascimento, Sung Chen Lin]. - Florianópolis: [s. n.], 2014. 98p.

YASSUDA, E. R. Gestão de recursos hídricos: fundamentos e aspectos institucionais. *Rev. Adm. Púb.*, v.27, n.2, p.5-18, 1993.

APÊNDICE



