

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DO SERTÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

KARMEM JULYA MIRON BATISTA

IMPACTO DA ALTERAÇÃO DO USO DO SOLO NO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL A PARTIR DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO
REMOTO: APLICAÇÃO NA BACIA DO RIACHO PIAUÍ, ARAPIRACA -
AL

Delmiro Gouveia

2017

KARMEM JULYA MIRON BATISTA

**IMPACTO DA ALTERAÇÃO DO USO DO SOLO NO ESCOAMENTO
SUPERFICIAL A PARTIR DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO
REMOTO: APLICAÇÃO NA BACIA DO RIACHO PIAUÍ, ARAPIRACA -
AL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Colegiado do Curso de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Alagoas – Campus do
Sertão, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Msc. Thiago Alberto Pereira da Silva

Delmiro Gouveia

2017

B333i Batista, Karmem Julya Miron

Impacto da alteração do uso do solo no escoamento superficial a partir de técnicas de sensoriamento remoto: aplicação na bacia do riacho Piauí, Arapiraca – AL / Karmem Julya Miron Batista – 2017.

76f.: il.

Monografia (Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2017.

Orientação: Profº Me Thiago Alberto Pereira da Silva

1. Escoamento Superficial. 2. Modelos hidrológicos.

I. Título. II. Riacho Piauí, Arapiraca.

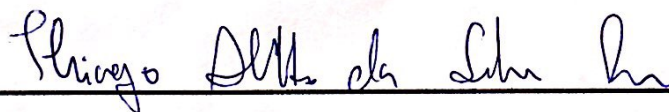
CDU 556 (813.5)

Folha de Aprovação

AUTOR: KARMEM JULYA MIRON BATISTA

IMPACTO DA ALTERAÇÃO DO USO DO SOLO NO ESCOAMENTO SUPERFICIAL A PARTIR DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO: APLICAÇÃO NA BACIA DO RIACHO PIAUÍ, ARAPIRACA-AL

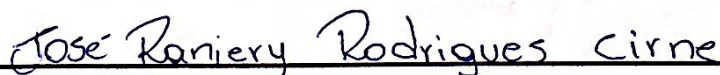
Este trabalho de conclusão de curso foi julgado adequado para a obtenção do título de Engenheiro Civil e aprovado em sua forma final pelo professor orientador e pelo Colegiado do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão, em 06 de novembro de 2017.



Prof. Msc. Thiago Alberto Da Silva Pereira

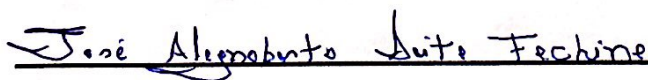
(Orientador)

Banca Examinadora:



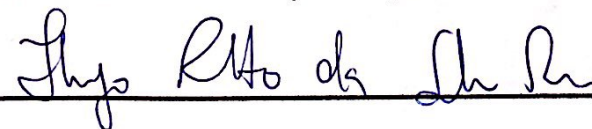
Prof. Dr. José Alegn Roberto Leite Fachine – UFAL

(Examinador Interno)



Prof. Msc. José Raniery Rodrigues Cirne – UFAL

(Examinador Interno)



Prof. Msc. Thiago Alberto Da Silva Pereira – UFAL

(Examinador Interno)

Ao meu avô Luís Maximiliano Miron que com sua simplicidade, humildade e muito honestidade, sempre me mostrou sua perseverança e maestria em tudo o que faz, me encorajando a ir em busca dos meus objetivos, e a cada dia querer ser mais parecida com ele, respeitando e amando ao próximo como a mim mesma.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelas oportunidades a mim ofertadas ao longo da vida, incluindo a oportunidade de desenvolver este trabalho. Por toda proteção e conforto nas horas difíceis. Além de muita perseverança, dedicação e foco aplicados nessa caminhada.

Ao meu orientador Prof. Msc. Thiago Alberto Pereira da Silva pela disponibilidade, pela paciência e por toda colaboração dada durante o tempo de evolução deste trabalho.

Agradeço especialmente, aos meus pais João Batista Silva e Maria Iris Miron Batista, por todo amor, carinho, ensinamentos e por sempre terem acreditado em mim mais do que eu mesma, e aos meus irmãos Gustavo e João Vitor pela força constante.

Ao meu namorado Valdemir Junior, que sempre esteve ao meu lado nas dificuldades, pela paciência, compreensão, companheirismo, carinho e amor a mim ofertados nessa trajetória.

Aos meus avós Carmélia Miron e Luís Maximiliano Miron, que com muito amor sempre ensinaram seus netos a perseverar em busca dos seus objetivos, sempre respeitando o próximo e fazendo as coisas certas.

Agradeço aos meus companheiros de curso Gustavo Batista e Fabricia Angelino, por terem ajudado a tornar essa caminhada mais leve, onde juntos conseguimos obter êxito, ao longo da graduação, em várias noites não dormidas seja estudando para algumas provas, ou fazendo alguns trabalhos, sempre um apoiando o outro e incentivando a alcançar os objetivos almejados.

A todos que, eventualmente, contribuíram para que eu chegasse até aqui direta ou indiretamente.

RESUMO

O intenso processo de urbanização aliado a falta de planejamento é responsável por ocasionar modificações nas paisagens naturais capazes de impactar diretamente na qualidade de vida da população. Muitos destes impactos estão relacionados à questão do uso e cobertura do solo e ao mau planejamento, fatores responsáveis por alterações nos componentes do ciclo hidrológico natural. No município de Arapiraca, a construção do Arapiraca Garden Shopping proporcionou a alteração do uso do solo na bacia em que está inserido, aumentando consideravelmente a quantidade de área impermeabilizada da bacia. O presente trabalho pretende avaliar os possíveis efeitos da alteração do uso e cobertura do solo na geração de escoamento superficial numa bacia urbana do município de Arapiraca-AL, a bacia do Riacho Piauí. Para este estudo, foram avaliados três cenários de urbanização da região da bacia (2001, 2011 e 2016) a partir de imagens de satélite georreferenciadas, obtendo informações relacionadas ao uso e cobertura do solo. Foram também realizadas simulações hidrológicas chuva-vazão no modelo SCS + Hidrograma Unitário + Convolução para diferentes eventos chuvosos, associados a diferentes tempos de retorno, para os três cenários de ocupação da bacia. As simulações indicaram que o aumento da impermeabilização do solo devido principalmente a construção do Shopping, foi responsável pelo acréscimo dos volumes escoados e vazões de pico geradas.

PALAVRAS-CHAVE: Escoamento superficial; Uso e cobertura do Solo; Modelos hidrológicos; Bacia do Riacho Piauí.

ABSTRACT

The intense urbanization process combined with the lack of planning is responsible for causing changes in the natural landscapes that can directly impact the quality of life of the population. Many of these impacts are related to the issue of land use and coverage and poor planning, factors responsible for changes in the components of the natural hydrological cycle. In the municipality of Arapiraca, the construction of Arapiraca Garden Shopping provided the alteration of the use of the soil in the basin in which it is inserted, considerably increasing the amount of waterproofed area of the basin. The present work intends to evaluate the possible effects of the alteration of the use and cover of the soil in the generation of surface runoff in an urban basin of the municipality of Arapiraca-AL, the Riacho Piauí basin. For this study, three scenarios of urbanization of the basin region (2001, 2011 and 2016) were evaluated from georeferenced satellite images, obtaining information related to the use and land cover. Also, rainfall-flow hydrologic simulations were performed in the SCS + Hydrographic Unit + Convolution model different rainfall events, associated to different return times, for the three basin occupation scenarios. The simulations indicated that the increase in waterproofing of the soil mainly due to the construction of Shopping, was responsible for the increase of the drained volumes and peak flows generated.

KEYWORDS: Surface runoff; Soil Use and Coverage; Hydrological models; The Piauí River Basin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Alterações hidrológicas consequentes do crescimento urbano (fonte: Marsh, 1993).....	19
Figura 2 – Estágios da transferência das enchentes por canalização (fonte: Tucci, 2015).....	22
Figura 3 - Subsistemas que compõem o sistema de informações derivadas de sensoriamento remoto. (Fonte: Novo, 2010).....	30
Figura 4 – Tipos básicos de satélites. (Fonte: Passow, 2010).....	34
Figura 5 - Imagem esquemática do satélite TRMM. (Fonte: Passow, 2010).....	37
Figura 6 – Missão ASTER a bordo do satélite TERRA.....	39
Figura 7 – Solos de Arapiraca-AL (Fonte: http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=al).....	40
Figura 8 – Localização de Arapiraca (Fonte: http://www.cienciaetecnologia.al.gov.br/configuracao/programas-e-projetos/ParqueTecnologico-Mapa-Polos).....	41
Figura 9 – Mapa da bacia hidrográfica do rio Piauí (fonte: http://www.semarih.se.gov.br).....	42
Figura 10 – Fluxograma metodológico do trabalho.....	43
Figura 11 – hidrograma unitário triangular.....	54
Figura 12 - Convolução dos hidrogramas.....	55
Figura 13 – Cenário de 2001. (Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Google Earth Pro, 2017).....	56
Figura 14 – Cenário de 2011. (Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Google Earth Pro, 2017).....	57
Figura 15 – Cenário de 2016. (Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de Google Earth Pro, 2017).....	57
Figura 16 – Comparação da alteração do uso do solo da bacia. (Fonte: Elaborado pelo Autor).....	58
Figura 17 – Área Urbana da bacia em 2001.....	59
Figura 18 – Área Urbana da bacia em 2011.....	60
Figura 19 – Área Urbana da bacia em 2016.....	60
Figura 20 – Dados Geográficos da Bacia. (Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptador de Google Earth Pro, 2017).....	61
Figura 21 – Área da Bacia.....	62

Figura 22 – Precipitação pelo método de Gonçalves para todos os tempos de retorno estudados.....	63
Figura 23 – Comparativo entre os valores de CN.....	65
Figura 24 – Hidrograma unitário triangular da bacia do Riacho Piauí.....	66
Figura 25 – Volume escoado em cada um dos cenários.....	67
Figura 26 – Diferença entre o volume escoado.....	67
Figura 27 – Hidrograma de cheia para o tempo de retorno de 2 anos, cenários de 2001, 2011 e 2016.....	68
Figura 28 – Hidrograma de cheia para o tempo de retorno de 5 anos, cenários de 2001, 2011 e 2016.....	68
Figura 29 – Hidrograma de cheia para o tempo de retorno de 10 anos, cenários de 2001, 2011 e 2016.....	69
Figura 30 – Hidrograma de cheia para o tempo de retorno de 25 anos, cenários de 2001, 2011 e 2016.....	69
Figura 31 – Hidrograma de cheia para o tempo de retorno de 50 anos, cenários de 2001, 2011 e 2016.....	70
Figura 32 – Comparação entre as vazões de pico.....	70
Figura 33 – Diferença entre as vazões de pico.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação entre o crescimento brasileiro e a taxa de urbanização.....	16
Tabela 2 - Valores dos parâmetros a, b, c, d e r^2 da IDF por Gonçalves (2011), ajustada para Arapiraca, Alagoas.....	46
Tabela 3 - Período de retorno para diferentes tipos de ocupação da área (Fonte: DAEE/CETESB,1980 apud TUCCI, 2009).....	47
Tabela 4 - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.....	50
Tabela 5 – Porcentagem do Uso do solo nos cenários estudados.....	58
Tabela 6 – Precipitações pelo método de Gonçalves.....	63
Tabela 7 – CN médio dos cenários.....	64
Tabela 8 – Volume escoado em cada um dos cenários.....	66
Tabela 9 – Vazões de Pico.....	71

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	OBJETIVO GERAL.....	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
3.1	PROCESSO DE URBANIZAÇÃO NO BRASIL.....	16
3.1.1	Impacto da urbanização nos recursos hídricos.....	16
3.2	GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO.....	28
3.2.1	Sensoriamento remoto e recursos hídricos.....	32
3.2.2	Modelo digital de Terreno.....	35
4	ÁREA DE ESTUDO.....	38
4.1	DADOS GERAIS.....	38
4.2	URBANIZAÇÃO DE ARAPIRACA.....	40
5	METODOLOGIA.....	43
5.1	OBTENÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE.....	44
5.2	CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS.....	44
5.3	CÁLCULO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	45
5.3.1	DADOS FISIOLÓGICOS DA BACIA.....	45
5.4	MODELO HIDROLÓGICO.....	48
5.4.1	SCS.....	48
5.4.2	Hidrograma unitário.....	52
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
6.1	OBTENÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE.....	56
6.2	CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS.....	58
6.3	CÁLCULO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL.....	61
6.3.1	DADOS FISIOLÓGICOS DA BACIA.....	61
6.4	MODELO HIDROLÓGICO.....	64

6.4.1 SCS.....	64
6.4.2 HIDROGRAMA UNITÁRIO.....	65
7. CONCLUSÃO.....	72
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74

1. INTRODUÇÃO

O Brasil apresentou, ao longo das últimas décadas, um crescimento significativo da população urbana, criando-se as chamadas regiões metropolitanas, resultantes dos processos intensos de urbanização. Esses fatores provocam a instalação de obras irregulares, afetando não só os recursos hídricos e sistemas de drenagem, como também alterando a paisagem, comprometendo a estabilidade geológica, a biodiversidade, a fauna, a flora e a proteção do solo.

A cobertura vegetal contribui na atenuação da erosão do solo, e também atua na interceptação das chuvas. Para Baptista *et al.* (2005), a urbanização provoca alterações significativas no meio ambiente, influenciando diretamente nos processos hidrológicos, por meio da ação direta dos cursos de água nas bacias hidrográficas.

A falta de manutenção dos cursos de água no espaço urbano acarreta a proliferação de doenças e exalação de odores, desvalorizando também o seu entorno. A gestão dessas áreas tem se tornado um grande desafio para os administradores públicos, pois à medida que as cidades crescem os impactos ambientais nas bacias aumentam, tornando a recuperação destas áreas bastante onerosa para os cofres públicos.

As enchentes urbanas constituem-se num dos importantes impactos sobre a sociedade. Com a urbanização, ocorre a impermeabilização do solo através de telhados, ruas calçadas e pátios, entre outros. Dessa forma, a parcela da água que infiltrava no solo ou era interceptada pela vegetação passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava retido pelas árvores, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções. Num hidrograma típico de uma bacia de área urbanizada os principais efeitos da urbanização são o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial (Tucci, 2015).

Nesse contexto, as imagens de satélite se mostram como uma ferramenta fundamental na análise do impacto da alteração do uso do solo no escoamento superficial, pois permitem enxergar e descobrir o planeta terra de uma posição

privilegiada. Elas permitem uma visão sinóptica (de conjunto) e multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre. Por meio delas, os ambientes mais distantes ou de difícil acesso tornam-se mais acessíveis (Florenzano, 2011).

Em vista disso, a realização de estudos, como o mapeamento do uso e ocupação do solo com a avaliação do impacto de urbanização sobre a dinâmica hidrológica e seus efeitos no escoamento superficial, fornecem subsídios para a elaboração de propostas que visam à sua recuperação e preservação. Não sendo diferente para a cidade de Arapiraca que notadamente teve uma elevada urbanização a partir dos anos 60, além disso, a cidade conta com o surgimento de diversos empreendimentos que impulsionam essa urbanização, como o Arapiraca Garden Shopping.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Analisar os impactos associados ao escoamento superficial provenientes de uma ocupação não planejada na bacia do riacho Piauí, localizada na área urbana do município de Arapiraca, utilizando técnicas de sensoriamento remoto.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudar a evolução temporal da mudança do uso do solo na bacia do riacho Piauí;
- Calcular o acréscimo da vazão na bacia decorrente das alterações no solo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. PROCESSO DE URBANIZAÇÃO NO BRASIL

Urbanização é o processo de transformação de uma sociedade, região ou território de rural para urbano, ou seja, não representa somente o crescimento da população das cidades, mas o aumento dessa em relação aos habitantes da zona rural. Portanto, quando a população urbana de um determinado local cresce em número maior que a do campo, dizemos que está ocorrendo um processo de urbanização.

A taxa de população urbana brasileira é de 80%, próxima à saturação. O processo de urbanização acelerado ocorreu depois da década de 1960, gerando uma população urbana praticamente sem infraestrutura. Em menos de uma geração, o país que era predominantemente agrário, tornou-se virtualmente urbanizado. Dessa maneira, as transformações quantitativas resultantes do crescimento urbano, resultaram em transformações qualitativas profundas, afetando assim a qualidade do espaço urbano devido à falta de infraestrutura (Deák e Schiffer, 1999; Tucci, 2007a).

Esse intenso processo de urbanização gerou grandes metrópoles na capital de cada estado. Estas regiões metropolitanas possuem um núcleo principal e várias cidades circunvizinhas, resultado da expansão desse crescimento, a Tabela 1 mostra a relação entre o crescimento da população brasileira e a taxa de urbanização.

Tabela 1 - Relação entre o crescimento brasileiro e a taxa de urbanização.

Ano	População (milhões de habitantes)	Parcela da população urbana (%)
1970	93,1	55,9%
1980	118,0	68,2%
1991	146,8	75,6%
1996	157,1	78,4%
2000	169,0	81,1%

(Fonte: Carlos E. M. Tucci, 2005)

Os efeitos desse processo fazem-se sentir sobre todo o aparelhamento urbano relativo a recursos hídricos: abastecimento de água, transporte e tratamento de esgotos cloacal e pluvial. O planejamento da ocupação do espaço urbano no

Brasil, através do Plano Diretor Urbano não tem considerado aspectos de drenagem urbana e qualidade da água, que trazem grandes transtornos e custos para a sociedade e para o ambiente. O desenvolvimento urbano brasileiro tem produzido aumento significativo na frequência das inundações, na produção de sedimentos e na deterioração da qualidade da água.

O aumento na busca por moradia nos espaços urbanos das cidades brasileiras tem levado constantemente a população a ocupar áreas de risco, e provocado um aumento do uso desordenado do solo, provocando variados impactos na população e ao meio ambiente. Estes impactos são provocados principalmente pela falta de infraestrutura, como ausências de sistemas de abastecimento de água e coleta de esgoto doméstico, bem como um sistema de captação de água de escoamento superficial. Em relação à drenagem de águas pluviais, o principal problema está relacionado com a frequência nas ocorrências de inundações urbanas.

A preocupação com os distúrbios ambientais sofreu significativa evolução a partir da década de 1960, com os movimentos e conferências mundiais sobre o meio ambiente, gerando, também, ações antrópicas sobre recursos hídricos (Gorski, 2010). Também foi importante a obrigatoriedade e constitucionalização do Plano Diretor para cidades com mais de 20.000 habitantes em 1988, ocorrendo audiências públicas em cada município, com a participação da sociedade na discussão de suas diretrizes.

Ainda no aspecto legislativo, existem outros fatores que influenciam diretamente na elaboração de medidas que visem o planejamento urbano, Moura (2004) alerta que, se for relegada a participação no processo decisório, o Estatuto da cidade, que tem função de democratizar o espaço urbano, será sucumbido diante da prática empresarial, que acaba provocando uma segmentação social e fragmentação do tecido urbano. Diante disso, é possível concluir que o destino do planejamento urbano, inclusive a credibilidade dos planos diretores está ligada aos avanços da consciência de classe, e a organização do poder político das classes populares.

Para Zampronio (2009), os problemas relacionados a influências políticas, tais como carência na educação pública, inexistência ou falha nas obras de saneamento

ambiental, podem consumir grande parte do orçamento público, restando pouco para o gerenciamento de risco de cheias. Assim, o elevado índice de analfabetismo de nosso país dificulta a implantação de políticas de preparo e conscientização da população sobre seus direitos e deveres, para exercerem um papel mais atuante e fiscalizador na questão dos problemas urbanos e sociais.

As legislações municipais e estaduais complementares e vigorosas são de fundamental importância na elaboração do planejamento urbano. Uma vez que o município é a mais adequada esfera de poder público para tratar estas questões: ele detém uma melhor gestão do espaço, trabalhando-o numa escala local e que pode ser efetivada pelos seus governantes.

É notório que no Brasil não existe uma harmonia entre o planejamento urbano e o seu crescimento. Dessa forma, muitas obras de infraestrutura no Brasil são realizadas de forma corretiva, e não preventiva, elevando assim seus custos, e que em muitos casos se tornam inviáveis financeiramente. Tal perfil de ações públicas corretivas deixa transparecer a incapacidade administrativa e a desorganização do Estado junto a uma sociedade desarticulada e desprovida de poder de negociação (Menezes, 1996).

A necessidade de um planejamento urbano eficaz, o qual leve em conta heterogeneidade dos espaços brasileiros e inclua as dimensões sociais, políticas e urbanas a seus planos e projetos são considerados mecanismos essenciais na mitigação dos impactos da urbanização ao meio ambiente e na promoção do bem-estar social.

3.1.1. IMPACTO DA URBANIZAÇÃO NOS RECURSOS HÍDRICOS

A transformação de superfícies permeáveis em impermeáveis modifica os espaços que, naturalmente, seriam ocupados pelas águas pluviais. Essa ação modifica o ciclo da água, resultando nos seguintes impactos:

- Diminuição da capacidade de infiltração da bacia e perda do seu armazenamento natural;
- Aumento no volume de escoamento superficial;

- Aumento das vazões de pico;
- Diminuição do tempo de concentração;
- Reduções na recarga dos aquíferos e na vazão de base.

A Figura 1 mostra uma ilustração típica das alterações causadas pela urbanização sobre a magnitude dos processos hidrológicos.

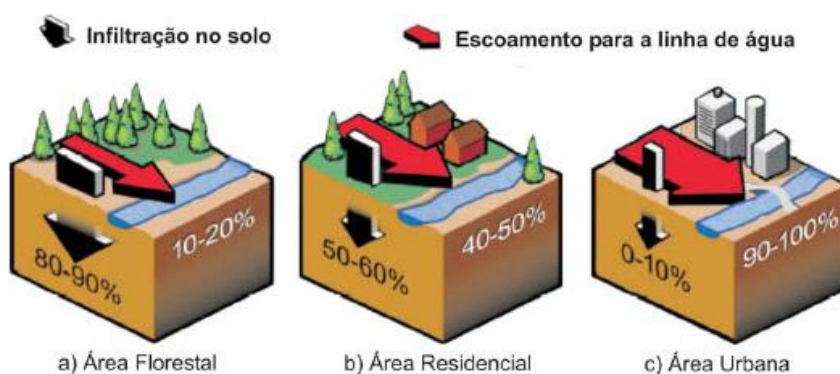


Figura 1 - Alterações hidrológicas consequentes do crescimento urbano (fonte: Marsh, 1993).

O escoamento produzido pelas bacias rurais é reduzido em relação às bacias urbanas, pois possuem terrenos com maior capacidade de infiltração e o escoamento sofre retardamento provocado pela cobertura vegetal que oferece resistência ao escoamento. Por outro lado, a interceptação da precipitação pela cobertura vegetal é fundamental para redução da quantidade e impacto do escoamento.

Nas bacias urbanas, a quantidade de precipitação que atinge a superfície do solo (ou precipitação efetiva) e o escoamento são superiores pelos seguintes motivos:

- Reduzida interceptação pela cobertura vegetal;
- Fraca infiltração consequente da elevada percentagem de área impermeabilizada;
- Tempo de concentração reduzido, pois o escoamento ocorre segundo planos e canais muito bem definidos (áreas pavimentadas, valas, coletores pluviais, etc.).

O Brasil, que possui uma extensa rede de bacias hidrográficas, e historicamente teve a ocupação das cidades localizadas às margens dos cursos d'água, modificando sua paisagem, tem como principal desafio aos seus gestores o fenômeno chamado 'crescimento urbano'.

Segundo Silva (2010), no Brasil, percebe-se que as diversas formas de ocupações urbanas variam de acordo com o momento histórico, político, econômico ou social e, conforme as inter-relações desses fatores. Com a expansão da malha urbana e segmentação do espaço urbano por classes de renda, entraves sociais e culturais surgiram, alterando assim o ecossistema destas bacias.

O elevado custo das propriedades no espaço urbano é o que tem motivado o surgimento de assentamentos localizados em áreas de risco (e áreas de preservação permanente) e localidades desprovidas de infraestrutura básica (água e esgoto).

Para Tucci (2015), no Brasil não existe um controle sistemático para controle da ocupação de áreas de risco, em geral, o atendimento a enchentes somente é realizado depois de sua ocorrência. A tendência é que o problema fique no esquecimento após cada enchente, retornando na seguinte. Isso se deve a vários fatores, entre os quais estão os seguintes:

- Falta de conhecimento sobre controle de enchentes por parte dos planejadores urbanos;
- Desorganização, a níveis federal e estadual, sobre controle de enchentes;
- Pouca informação técnica sobre o assunto a nível de graduação na engenharia;
- O desgaste político para o administrador público, resultante do controle não-estrutural (zoneamento), já que a população está sempre esperando uma obra hidráulica;
- Falta de educação da população sobre controle de enchentes.

A falta de fiscalização associada a imatura conscientização ambiental da sociedade favorecem o surgimento de empreendimentos que não vão de acordo com as diretrizes urbanísticas previstas por lei. O aumento da taxa de impermeabilização é bastante preocupante, pois sobrecarrega o sistema de

drenagem, em especial nos períodos chuvosos, causando danos à saúde e prejuízos econômicos a cidade. Desta maneira, o impacto ambiental nas bacias é potencializado. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº. 1, de 23 de janeiro de 1986 define impacto ambiental como:

(..) qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: (i) a saúde, a segurança e o bem-estar da população, (ii) as atividades sociais e econômicas, (iii) a biota, (iv) as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e (v) a qualidade dos recursos ambientais.

Para Coelho (2011), o impacto ambiental não é só o resultado de uma ação realizada sobre o ambiente, mas sim a relação de mudanças sociais e ecológicas. Dessa forma, é fundamental conhecer os processos que geram os impactos ambientais para melhor entendê-los:

As mudanças sociais e ecológicas são marcadas por rupturas num contínuo, provocando uma desestruturação e uma reestruturação que deverá ser afetada por nova mudança. Somente através de pesquisa de acompanhamento sistemático voltada para a compreensão das estruturas e dos processos não planejados e de longa duração é que podem ser explicados os impactos. Coelho (2011, p. 24).

Segundo Coelho, “Os problemas ambientais (ecológicos e sociais) não atingem igualmente todo o espaço urbano. Atingem muito mais os espaços físicos de ocupação das classes sociais menos favorecidas do que os das classes mais elevadas” (2011, p. 27).

No Brasil, a tendência de controle das cheias urbanas devido à urbanização é que ele seja realizado, na maioria das vezes, através da canalização dos trechos críticos. Esse tipo de solução segue a visão particular de apenas um trecho da bacia, sem prever as consequências para o restante da mesma ou dentro de diferentes parcelas de ocupação urbana. Ao realizar a canalização de trechos

críticos a inundação é apenas transferida de um ponto para outro da bacia. Para TUCCI (2015) esse processo ocorre, em geral, na sequência indicada na figura 2:

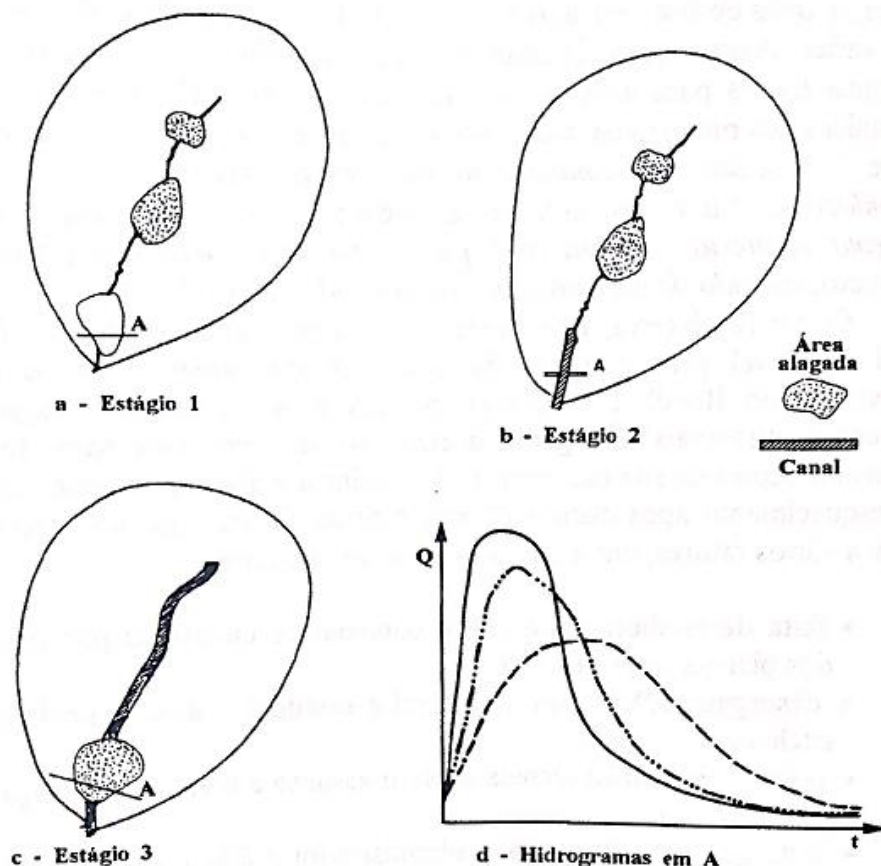


Figura 2 – Estágios da transferência das enchentes por canalização (fonte: Tucci, 2015).

De acordo com Tucci:

estágio 1: a bacia começa a ser urbanizada de forma distribuída, com maior densificação a jusante, aparecendo, no leito natural, os locais de inundação devido a estrangulamentos naturais ao longo do seu curso (figura 2^a). (2015, p. 26)

estágio 2: as primeiras canalizações são executadas a jusante, com base na urbanização atual; com isso, o hidrograma a jusante aumenta, mas é ainda contido pelas áreas que inundam a montante e porque a bacia não está totalmente densificada (figura 2b). (2015, p.26)

estágio 3: com a maior densificação, a pressão pública faz com que os administradores continuem o processo de canalização para montante. Quando o processo se completa, ou mesmo antes, as inundações retornam a jusante, devido ao aumento da vazão máxima, quando esta não tem mais

condições de ser ampliada. As áreas de montante funcionavam como reservatórios de amortecimento. Nesse estágio, a canalização simplesmente *transfere a inundação para jusante* (figura 2c). Já não existem espaços laterais para ampliar os canais a jusante, e as soluções convergem para o aprofundamento do canal, com custos extremamente altos (podendo chegar a US\$ 50 milhões/km, dependendo do subsolo, largura, revestimento, etc.). (2015, p.27)

Além dos prejuízos aos cofres públicos, esse processo representa um grande prejuízo para toda a sociedade ao longo do tempo como qualidade de vida e saúde pública. Tucci (2015) observou que a prática em outros países tem sido a de se utilizarem áreas temporárias de retardo de vazão, como os reservatórios de detenção. Esse reservatório não precisa ser relacionado a grandes obras, podendo representar apenas uma pequena superfície de pequeno volume, que faça parte de uma área pública ou condomínio.

Outra alternativa para redução da quantidade e impacto do escoamento é aumentar as áreas verdes, pois essas áreas produzem pouco escoamento em relação a áreas impermeabilizadas, pois possuem terrenos com maior capacidade de infiltração e o escoamento sofre retardamento provocado pela cobertura vegetal que oferece resistência ao escoamento. As áreas impermeabilizadas além de afetarem os recursos hídricos com o aumento do escoamento superficial, afetam, também, a temperatura das áreas urbanas com a formação de ilhas de calor. Por isso, é importante existir áreas verdes no espaço urbano.

A cobertura vegetal, em especial as matas ciliares, auxilia no controle da erosão do solo urbano, interceptando as chuvas (e protegendo o solo), reduzindo, assim, sua velocidade de escoamento. Ela ainda contribui na retenção de sedimentos, evitando o assoreamento dos cursos de água e realiza a captura do gás carbônico durante o dia e produção de oxigênio durante a noite. Segundo Tucci e Clarke (1997), as alterações na cobertura vegetal das bacias hidrológicas não influenciam apenas o seu comportamento hidrológico, mas também altera a precipitação e a umidade do solo.

Para uma dada chuva, quanto maior a capacidade de infiltração do solo, menor o escoamento superficial resultante. A permeabilidade do solo influi

diretamente na capacidade de infiltração, isto é, quanto mais permeável for o solo, maior será a velocidade do escoamento da água subterrânea e, em consequência, maior a quantidade de água que ele poderá absorver pela superfície por unidade de tempo. Assim, ao aumento da permeabilidade do solo corresponde uma diminuição do volume do escoamento superficial.

Com a urbanização, características da bacia como a capacidade de infiltração do solo e escoamento superficial são alteradas, impactando o meio ambiente e podendo causar prejuízos a população, dessa forma, a análise e monitoramento desses parâmetros é fundamental, e pode ser obtida a partir de modelos hidrológicos.

Um modelo pode ser considerado como uma representação simplificada da realidade, auxiliando no entendimento dos processos que a envolvem. Os modelos estão sendo cada vez mais utilizados em estudos ambientais, pois ajudam a entender o impacto das mudanças no uso e cobertura da terra e prever alterações futuras nos ecossistemas.

De maneira geral, um modelo é um sistema de equações e procedimentos compostos por variáveis e parâmetros. Os parâmetros mantêm seu valor inalterado durante todo o processo estudado. Assim, um parâmetro possui o mesmo valor para todos os intervalos de tempo, o que não significa que ele não possa variar espacialmente. Por outro lado, as variáveis podem mudar ao longo do tempo que o modelo estiver sendo executado.

Tucci (1998) define modelo hidrológico como uma ferramenta utilizada para representar os processos que ocorrem na bacia hidrográfica e prever as consequências das diferentes ocorrências em relação aos valores observados. Um modelo hidrológico também pode ser definido como uma representação matemática do fluxo de água e seus constituintes sobre alguma parte da superfície e/ou subsuperfície terrestre.

A modelagem hidrológica se relaciona com as modelagens biológica e ecológica, pois os processos constituintes dos mesmos são interdependentes, por exemplo, o transporte de materiais pela água é influenciado por atividades biológicas

que podem aumentar ou diminuir a quantidade desses materiais na água, e o regime do fluxo de água pode afetar diversos habitats.

Na maioria dos modelos hidrológicos o objeto de estudo é a bacia, reunindo as superfícies que captam e despejam água sobre um ou mais canais de escoamento que desembocam numa única saída. A bacia pode constituir a unidade espacial para modelos agregados que consideram as propriedades médias para toda a bacia, ou então, pode ser subdividida segundo diversas abordagens a fim de considerar suas características espacialmente distribuídas. Para melhor entender os modelos hidrológicos, é necessário analisar os componentes envolvidos no ciclo hidrológico.

Do ponto de vista hidrológico, o solo pode ser entendido como um reservatório, cujo volume de água armazenado pode ser bastante variável no tempo, dependendo de muitos fatores. O balanço de água no solo pode ser resolvido computando-se todas as entradas e as saídas do sistema.

A principal entrada de água no sistema é a precipitação. Considerando a existência de uma cobertura vegetal sobre o solo, a água da chuva é primeiramente interceptada pela cobertura vegetal, podendo também atingir diretamente o solo ou corpos d'água. Esta água interceptada pode então ser evaporada. Da água que chega até a superfície do solo, parte é infiltrada (entra no perfil de solo) e parte pode escoar superficialmente. A água infiltrada irá se redistribuir ao longo do perfil de solo. Simultaneamente à entrada de água no solo, a água pode estar sendo evaporada pela superfície ou retirada do solo pelas raízes e transpirada pelas folhas das árvores. A água pode ainda descer o perfil de solo e chegar ao lençol freático, ou, em algumas situações, pode haver um fluxo ascendente de água no solo.

Na engenharia, em estudos hidrológicos, há interesse em se conhecer o hidrograma de projeto associado a um período de retorno especificado. Isto é, deseja-se determinar o hidrograma associado a uma chuva de projeto, através de método que promove a transformação chuva-vazão.

Em geral, o escoamento superficial que se deseja conhecer é aquele que resulta da chuva capaz de produzir uma enchente do curso d'água ou o escoamento superficial resultante de uma chuva qualquer. As maneiras de se realizar a

mencionada transformação com base em modelação matemática são várias, sendo, adiante, mencionadas algumas delas: o método racional, o método do hidrograma unitário e o método do hidrograma unitário sintético, para o qual existem diversas variações.

O método racional, introduzido em 1889, é o mais simples dentre todos os modelos hidrológicos que promovem a transformação de uma chuva em escoamento superficial. É largamente utilizado no Brasil, Estados Unidos e muitos outros países. A aplicação do método, todavia, deve ser restrita a pequenas bacias hidrográficas, ou simplesmente, pequenas superfícies de drenagem. Para Tucci (2015) é recomendável limitar a aplicação do método para áreas inferiores a 2,5km².

O método racional utiliza uma equação simples que exprime um estado permanente da transformação da chuva em vazão. Tal situação somente ocorre quando a chuva de intensidade constante e duração superior ao tempo de concentração da bacia cobre toda a área de drenagem.

Denomina-se hidrograma unitário (HU), o hidrograma característico da bacia correspondente à resposta da mesma à chuva efetiva uniforme de certa duração t_d e altura pluviométrica igual a 1cm (Tucci, 2005). O hidrograma unitário de uma bacia hidrográfica é ferramenta muito útil para a transformação de dados de chuva em vazão, especialmente quando se necessita não somente da vazão máxima de projeto, mas do comportamento da vazão de cheia ao longo do tempo.

No método do hidrograma unitário, admite-se que a bacia hidrográfica se comporta como um sistema linear. Para a aplicação do método, as chuvas complexas devem ser subdivididas em chuvas simples. Assim, se for conhecido o hidrograma resultante de uma chuva simples, poderá ser facilmente determinado o hidrograma correspondente à chuva complexa. Para isso, o método apoia-se na principal propriedade dos sistemas lineares, que é a superposição dos efeitos.

O método do hidrograma unitário sintético é usado quando não se dispõe dos dados necessários ao estabelecimento do HU, conforme visto na seção anterior, estes ainda podem ser sintetizados. Para tal fim, utilizam-se as informações de outras bacias, de características as mais semelhantes possíveis, para construir o hidrograma unitário da bacia de interesse.

Os métodos conhecidos para a construção do HU sintético baseiam-se, em geral, na determinação de valores de alguns tempos característicos do hidrograma, como o tempo de pico e o tempo de base, e na determinação da vazão de pico do hidrograma (Tucci, 2005). A partir da regionalização destas variáveis com base em características físicas, tem-se permitido estabelecer o HU para um local sem dados observados. Três dos mais conhecidos métodos de sintetização do hidrograma unitário para uma bacia são: 1) o método de *Snyder*, 2) uma variação do método de *Snyder* para aplicação em bacias urbanas e 3) o método do *Soil Conservance Service*. Este último será melhor detalhado na metodologia, pois foi selecionado para calcular o impacto provocado pela urbanização.

3.2. GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO

Segundo Moura (2003) o geoprocessamento pode ser definido como um ramo do processamento de dados que opera transformações nos dados contidos em uma base de dados referenciada territorialmente (geocodificada), usando recursos analíticos, gráficos e lógicos, para a obtenção e apresentação das transformações desejadas.

A obtenção de informações sobre a distribuição geográfica de fenômenos e objetos é parte importante das atividades das sociedades organizadas. No entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel, que acabavam por dificultar uma análise combinada de diversos mapas e dados.

Com o desenvolvimento da Informática na segunda metade do século XX, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional. As ferramentas para geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográficas (SIG), permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar banco de dados georreferenciados (Câmara *et al.*, 2001).

Nesse contexto, o termo geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica e que vem influenciando de maneira crescentes as áreas de cartografia, análise de recursos naturais, transportes, comunicação, energia e planejamento urbano e regional.

O Geoprocessamento é uma tecnologia formada pela confluência de outras tecnologias, como:

- Sistema de Posicionamento Global (GPS);
- Sensoriamento Remoto;
- Processamento Digital de Imagens (PDI);
- Cartografia Digital;
- Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD);
- Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

O termo sensoriamento remoto apareceu pela primeira vez na literatura científica em 1960 e significava simplesmente a aquisição de informações sem contato físico com os objetos (Novo, 2010). Desde então esse termo tem abrigado tecnologia e conhecimentos extremamente complexos derivados de diferentes campos.

Sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo *sensoriamento* refere-se à obtenção de dados por meio de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas (balões e aeronaves) e orbitais (satélites artificiais). O termo *remoto*, que significa distante, é usado porque a obtenção é feita sem o contato físico entre o sensor e objetos na superfície terrestre (Florenzano, 2011).

Os sistemas de sensoriamento remoto disponíveis atualmente fornecem repetitivos e consistentes da superfície da Terra, os quais são de grande utilidade para diversas aplicações, dentre as quais se destacam:

- Urbanas (inferência demográfica, cadastro, planejamento urbano, suporte ao setor imobiliário).
- Agrícolas: condição das culturas, previsão de safras, erosão de solos.
- Geológicas: minerais, petróleo, gás natural.
- Ecológicas (regiões alagadas, solos, florestas, oceanos, águas continentais).
- Florestais (produção de madeira, controle de desflorestamento, estimativa de biomassa).
- Cartográficas (produtividade primária, monitoramento de óleo, estudos costeiros, circulação oceânica etc.).
- Hidrológicas (mapeamento de áreas afetadas por inundações, avaliação de consumo de água por irrigação, modelagem hidrológica).
- Limnológicas (caracterização da vegetação aquática, identificação de tipos de água; avaliação do impacto do uso da terra em sistemas aquáticos).

- Militares, e muitas outras.

A Figura 3 mostra que o sensoriamento remoto como sistema de aquisição de informações pode ser dividido em dois grandes subsistemas: 1) Subsistema de Aquisição de Aquisição de Dados de Sensoriamento Remoto; 2) Subsistema de Produção de Informações (Novo, 2010).

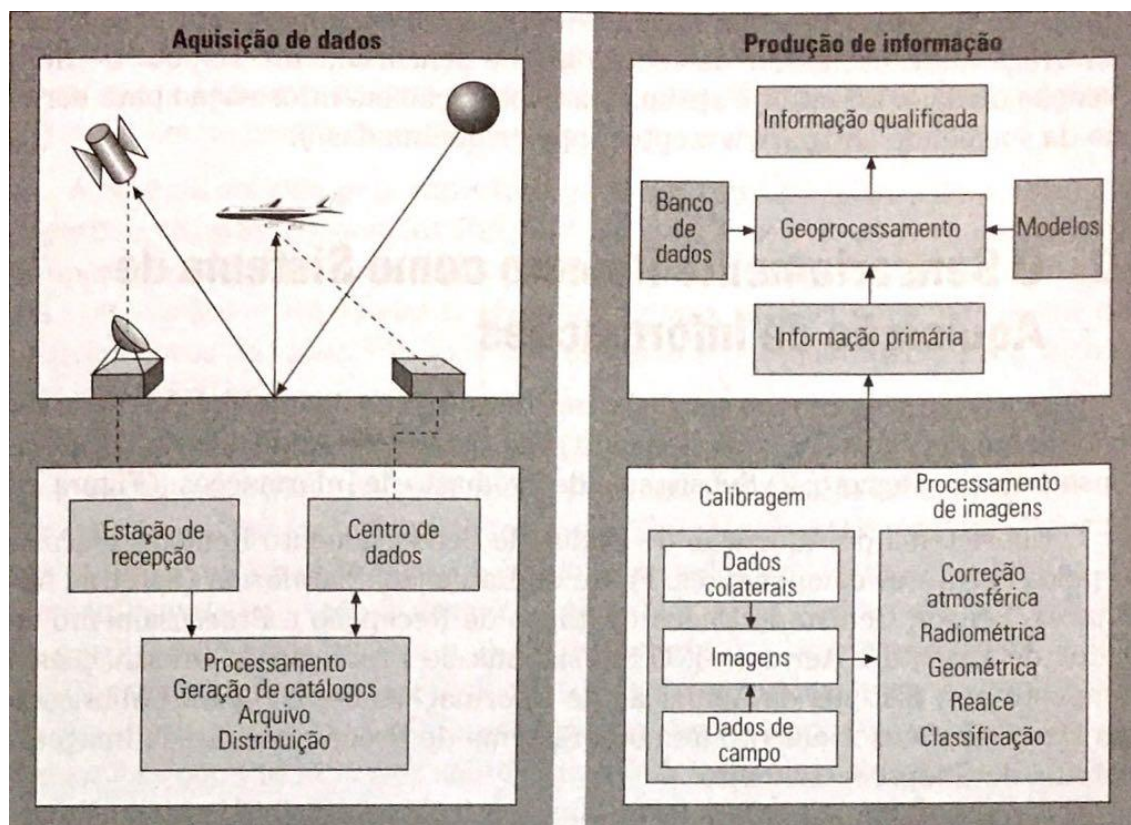


Figura 3 - Subsistemas que compõem o sistema de informações derivadas de sensoriamento remoto. (Fonte: Novo, 2010).

O Subsistema de Aquisição de Aquisição de Dados de Sensoriamento Remoto é formado pelos seguintes componentes: Fonte de Radiação, Plataforma (satélite, aeronave), Sensor, Centro de Dados (Estação de recepção e Processamento de Dados). O Subsistema de Produção de Informações é composto por: sistema de aquisição de informações de solo para calibragem dos dados de sensoriamento remoto, sistema de processamento de imagens, sistema de geoprocessamento.

A Figura 4 mostra os dois tipos básicos de satélites. A cada minuto de cada dia, um arranjo de satélites ambientais operacionais geossíncronos (geoestacionários) monitora as condições atmosféricas em todo o mundo. Os

satélites medem comprimentos de onda selecionados, por meio de sensores ativos e passivos. As imagens processadas por computador, especialmente na faixa do infravermelho (calor), tornaram-se familiares pela televisão e pelos sistemas de previsão de tempo.

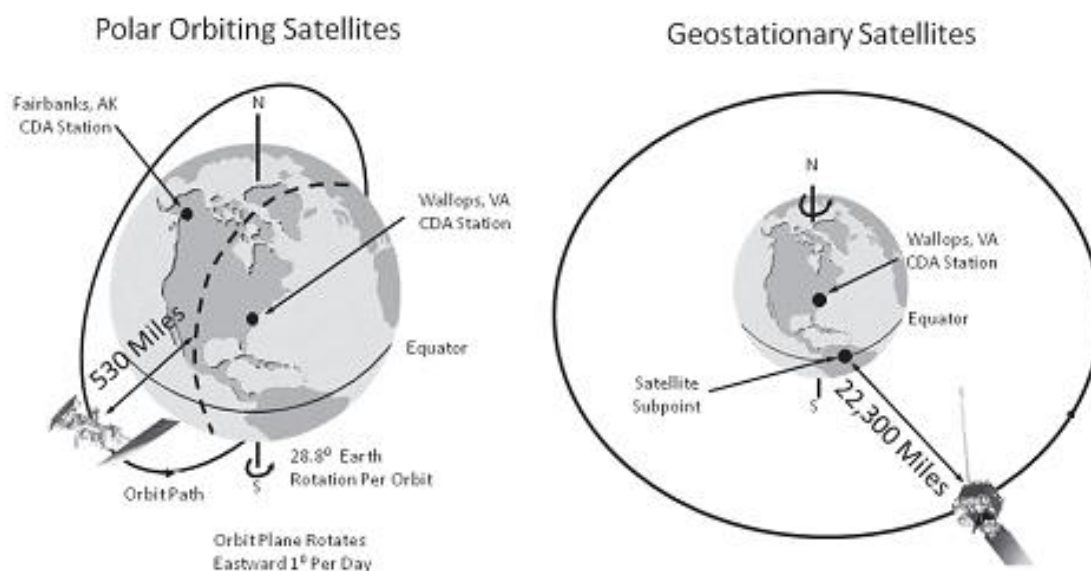


Figura 4 – Tipos básicos de satélites. (Fonte: Passow, 2010).

A órbita do sistema Goes situa-se aproximadamente a 35.800 km acima da superfície e se move ao redor da Terra exatamente na mesma velocidade com que a Terra gira. Isso mantém o satélite sobre o mesmo ponto acima do equador, e permite cobertura contínua de quase todo o planeta, de polo a polo (Passow, 2010).

Imagens mais detalhadas são obtidas pelos satélites de órbita polar, nome um tanto enganador, pois esses satélites podem voar em latitudes tropicais, na medida em que viajam a altitudes mais baixas, cerca de 800 km de altura. Eles descrevem uma órbita completa a cada 90 minutos, cerca de 14 órbitas por dia. Cada órbita varre uma faixa de aproximadamente 1000 km de largura, que fica sempre mais a oeste do que a órbita anterior. Isto permite construir uma série temporal de imagens dos mesmos locais.

A NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e outras agências espaciais operam muitas missões que permitem monitoramento constante de tempestades, temperaturas da superfície do mar, distribuição do fitoplâncton, e muitas outras variáveis atmosféricas e oceânicas. Por exemplo, a cada dia a missão

água produz cerca de 89 *Gigabytes* de dados sobre água no planeta (Passow, 2010).

A aplicação do Sensoriamento Remoto no monitoramento do uso e ocupação da terra é primordial para a compreensão dos padrões de organização do espaço, uma vez que suas tendências possam ser analisadas. Este monitoramento consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou, quando não utilizado pelo homem, a caracterização de tipos de categorias de vegetação natural que reveste o solo, como também suas respectivas localizações. De forma sintética, a expressão “uso da terra ou uso do solo” pode ser entendida como sendo a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem (Rosa, 2007).

3.2.1. SENSORIAMENTO REMOTO E RECURSOS HÍDRICOS

A utilização de sensoriamento remoto em recursos hídricos ganhou impulso na última década, principalmente devido ao desenvolvimento de novos sensores orbitais que podem ser utilizados no monitoramento hidrológico e climático. As estimativas hidrológicas obtidas remotamente incluem parâmetros superficiais e variáveis de “estado”, como, por exemplo, a evapotranspiração e o teor de água no solo, podendo englobar praticamente todas as fases do ciclo hidrológico terrestre (Schultz e Engman, 2000; Liang, 2004; Lakshmi, 2005; Cazenave e Savenija, 2008).

A evapotranspiração está associada com o uso consuntivo, ou seja, a água que se torna imediatamente indisponível para uso na bacia hidrográfica. A transpiração é fração produtiva da evapotranspiração, sendo elemento fundamental no ciclo fisiológico da planta e sua biomassa. A evaporação, em sentido oposto, representa a fração não produtiva, que deve ser reduzida. A água no solo representa o armazenamento que poderá ser utilizado pela planta ou recarregar o aquífero, tornando-se disponível para outros usos à jusante.

Desta forma, planos de recursos hídricos devem conter o diagnóstico da situação atual e tendências de longo prazo em relação a demanda por recursos hídricos. Estimativas remotas podem ser utilizadas na caracterização e quantificação dos usos agrícolas (diagnóstico) na bacia hidrográfica. A análise de séries temporais, envolvendo o processamento de múltiplas imagens ao longo dos anos,

permite constatar tendências em relação à expansão da área urbana, o consumo e à produtividade da água.

O sensoriamento remoto, dirigido às questões do perímetro urbano municipal, permite a realização do mapeamento do solo, onde, a partir daí é possível contribuir para a criação de planos de ação e intervenção ambientais efetivos pela prefeitura municipal, permitindo definir, avaliar e analisar questões ambientais urbanas ou de qualquer natureza aplicada, como as ligadas à drenagem urbana, controle de enchentes, criação de planos diretores, RIMA'S e perícias ambientais.

É essencial para o gerenciamento dos recursos hídricos obter-se dados sobre o uso e ocupação das terras. Schutz (*apud* Eid e Campana,1999) cita que a utilização do sensoriamento remoto e dos sistemas de informações geográficas têm sido bastante úteis e satisfatório no manejo dos recursos hídricos, destacando-se como exemplo a extensão de série mensal de dados de vazão de Ghana, para um projeto com insuficiência de dados; o monitoramento do assoreamento de um reservatório na Alemanha e a previsão e controle de enchentes utilizando-se radares meteorológicos.

Diante desses conceitos, e conforme o contexto atual de demanda crescente por água torna-se essencial analisar a distribuição espacial dos componentes do ciclo hidrológico na bacia hidrográfica, bem como os usos do solo, deplecionamentos e produtividade d'água em diferentes escalas espaciais e temporais, sendo o sensoriamento remoto uma ferramenta fundamental e de fácil acesso para essa análise.

Existem diversos satélites que auxiliam na obtenção de dados do ciclo hidrológico e monitoramento dos recursos hídricos, vale destacar o sistema TRMM - *Tropical Rainfall Measuring Mission* – que oferece algumas das mais valiosas imagens para acompanhamento, previsão e análise de precipitação. Durante mais de doze anos, o satélite TRMM voou entre as latitudes de aproximadamente 30° positivas/negativas, de ambos os lados do equador, fazendo 16 órbitas por dia. Os instrumentos de bordo monitoram nuvens, precipitações, fluxo de calor, raios e outros aspectos do ciclo da água. O sistema também permite criar imagens 3d das tempestades.

O TRMM foi lançado em 1997, como satélite experimental conjunto da NASA e da agência de exploração aeroespacial do Japão (JAXA). Assim, excedeu tão bem as expectativas que seu status foi alterado para o de um satélite operacional, utilizado para gerar previsões. A Figura 5 mostra a plataforma TRMM e seus cinco instrumentos básicos.

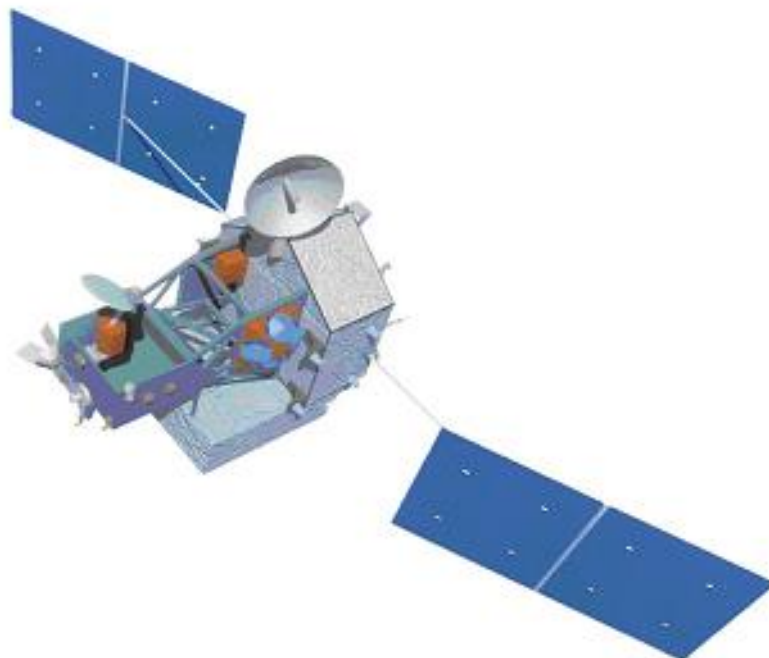


Figura 5 - Imagem esquemática do satélite TRMM. (Fonte: Passow, 2010).

O radar de precipitação TRMM foi o primeiro instrumento espacial concebido para fornecer mapas tridimensionais da estrutura de uma tempestade. O principal instrumento para a medição da precipitação é o sensor de micro-ondas (TMI). O imageador de microondas é um sensor de microondas passivo projetado para fornecer informações quantitativas de precipitação sobre uma ampla área sob o satélite. O imageador de microondas permite que a TMI quantifique o vapor de água, a água de nuvens e a intensidade da precipitação na atmosfera. O scanner de radiação visível e infravermelha também fornece indicação da chuva, e se conecta as observações recolhidas pelo TRMM com aquelas coletadas por Goes e outras missões Poes.

O sistema de nuvens e energia radiante da Terra monitora a energia trocada entre o sol, a atmosfera terrestre, a superfície e nuvens, e o espaço. Finalmente, o

sensor de imageamento de raios é um instrumento altamente sofisticado capaz de detectar e localizar um relâmpago na região tropical do globo.

3.2.2. MODELO DIGITAL DE TERRENO

O solo é a base de grande parte dos recursos naturais. A representação gráfica do seu relevo é tarefa quase sempre imprescindível. Reproduzir sobre um plano, graficamente, a sensação de que o relevo terrestre esteja sendo representado espacialmente é processo prático, acessível e rápido.

O planejamento e o manejo de recursos naturais requerem, frequentemente, um bom mapeamento. O solo é o substrato de grande parte desses recursos e a representação gráfica do seu relevo é tarefa indispensável. Mapas de levantamentos planialtimétricos reproduzem as curvas de nível do terreno. Porém, estas exigem alto grau de abstração para poderem reconstruir os modelos desses relevos.

Reproduzir sobre um plano, graficamente, a sensação do relevo terrestre, representado espacialmente é um processo prático, acessível e barato, levando em consideração os recursos computacionais atualmente disponíveis. A obtenção de modelos em perspectiva torna-se possível por meio da digitalização de mapas.

O modelo digital do terreno é uma representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno vinculada a uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. Dentre alguns usos do MNT pode-se citar (Burrough, 1986):

- Armazenamento de dados de altimetria para mapas topográficos;
- Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- Elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio a análise de geomorfologia e erodibilidade;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Para a representação de uma superfície real no computador é indispensável a criação de um modelo digital, podendo ser por equações analíticas ou por uma rede de pontos na forma de uma grade de pontos regulares e ou irregulares. A partir dos modelos pode-se calcular volumes, áreas, desenhar perfis e seções transversais,

gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e exposição, gerar fatiamentos em intervalos desejados e perspectivas tridimensionais.

No processo de modelagem numérica de terreno podemos distinguir três fases: aquisição dos dados, geração de grades e elaboração de produtos representando as informações obtidas.

Os dados de modelo numérico de terreno estão representados pelas coordenadas xyz, onde z, o parâmetro a ser modelado, é função de xy, ou seja: $z = f(x,y)$. Estes dados são usualmente adquiridos segundo uma distribuição irregular no plano xy, ou ao longo de linhas com mesmo valor de z ou mesmo com um espaçamento regular.

A aquisição destes dados é realizada por levantamentos de campo, digitalização de mapas, medidas fotogramétricas a partir de modelos estereoscópicos e dados altimétricos adquiridos de GPSs, aviões e satélites. Entretanto as aplicações ou produtos de MNT não são elaborados sobre os dados amostrados, mas sim dos modelos gerados no formato de grade regular ou irregular. Estes formatos simplificam a implementação dos algoritmos de aplicação e os tornam mais rápidos computacionalmente.

ASTER (do inglês *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) é um dos cinco dispositivos de sensoriamento remoto a bordo do satélite Terra, conforme a Figura 6. Estes foram lançados pela NASA em 1999. O instrumento tem coletado dados desde fevereiro de 2000. ASTER fornece imagens de alta resolução da Terra em 14 comprimentos de onda diferentes; variando do espectro visível à luz infravermelha. A resolução das imagens variam de 15 a 90 metros.

Os dados do ASTER são usados para criar mapas de temperatura de superfície, emissividade, refletividade e elevação. Os MDTs gerados pela missão ASTER apresentam uma resolução espacial de 30 metros (pixels de 30x30 metros).

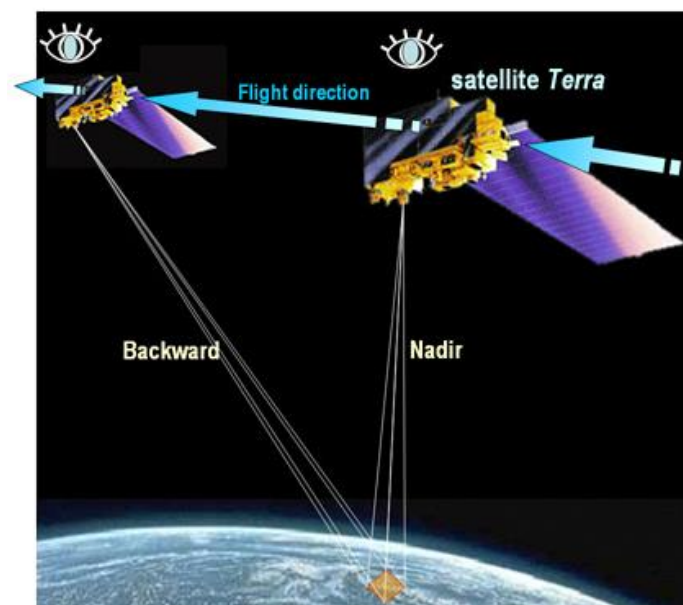


Figura 6 – Missão ASTER a bordo do satélite TERRA.

4. ÁREA DE ESTUDO

4.1. DADOS GERAIS

O município de Arapiraca encontra-se localizado na região fisiográfica do agreste, parte central do estado de Alagoas, ocupando uma área em torno de 365,5 Km², suas coordenadas geográficas são: 9°45'13" de latitude sul e 35°38'58" de longitude de W. Situa-se numa ampla planície, a 264 m de altitude e dista 136 km da capital do estado, Maceió, tendo como principais vias de acesso, as rodovias AL-220, AL-115 e AL-110, pavimentadas que se interligam com todo o estado.

O clima de Arapiraca é do tipo temperado. A temperatura, própria da zona do agreste alagoano. A média pluviométrica dos últimos cinco anos foi de 1.076,82 mm e nos últimos 10 anos, de 826,81mm (SEAP, Estação Experimental de Arapiraca, 2007). No entanto, as precipitações não são distribuídas de forma igualitária ao longo do ano, pois desse total, mais de 50% corresponde aos meses de abril a julho. A umidade relativa do ar é de 75% no período seco (de outubro a janeiro) e de 85% no período das chuvas (maio a agosto).

O território municipal é drenado por mananciais de águas de superfície representados pelas bacias hidrográficas: do rio Piauí, do rio Coruripe, do rio Perucaba, sendo a primeira pertencente à vertente atlântica e a segunda, à vertente do rio São Francisco, e pequena parte do riacho Salgado, afluente do Rio Traipu, sendo este intermitente e também contribuinte do Rio São Francisco. Desse modo, o município de Arapiraca faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco e do Oceano Atlântico.

Existe ainda o Riacho dos Vitorinos, as Lagoas de Pé Leve e Cangandú e o Açude DNOCS. O município de Arapiraca possui nascentes secundárias que drenam para o médio curso das Bacias dos Rios Traipu e Coruripe e nascentes principais que compõem as zonas de cabeceiras de drenagem das bacias dos Rios Piauí e Perucaba. A cidade exerce uma maior influência direta na bacia hidrográfica do rio Piauí, onde a urbanização ocorreu de forma intensiva. O Riacho Piauí, também chamado de Riacho Seco, percorre tanto o sul da zona rural, como a zona

urbana, em área de várzea, onde foram instalados os recentes Parques Urbanos, Ceci Cunha I e o Parque Municipal.

De acordo com o relatório da CPRM – Serviço Geológico do Brasil publicado em agosto de 2005, seu relevo encontra-se na unidade dos tabuleiros costeiros com solos profundos e de baixa fertilidade natural. O clima é tropical chuvoso com verão seco, com precipitação média anual de 1634,2mm. A vegetação é do tipo *Floresta Subperenifólia*, com parcelas de *Floresta Subcaducifólia* e cerrado/floresta. O solo varia de composição de acordo com o relevo assumindo a classificação de *Latossolo* e *Podzólicos* nos topos de chapadas e residuais.

A figura 7 mostra o mapa característicos dos tipos de solo de Arapiraca, segundo a Agência de Informação Embrapa *Latosolos* são solos minerais, homogêneos, com pouca diferenciação entre os horizontes ou camadas, reconhecido facilmente pela cor quase homogênea do solo com a profundidade. Os Latossolos são profundos, bem drenados e com baixa capacidade de troca de cátions, com textura média ou mais fina (argilosa, muito argilosa) e, com mais frequência, são pouco férteis. A Figura 7 mostra a distribuição dos diferentes tipos de solo do município.

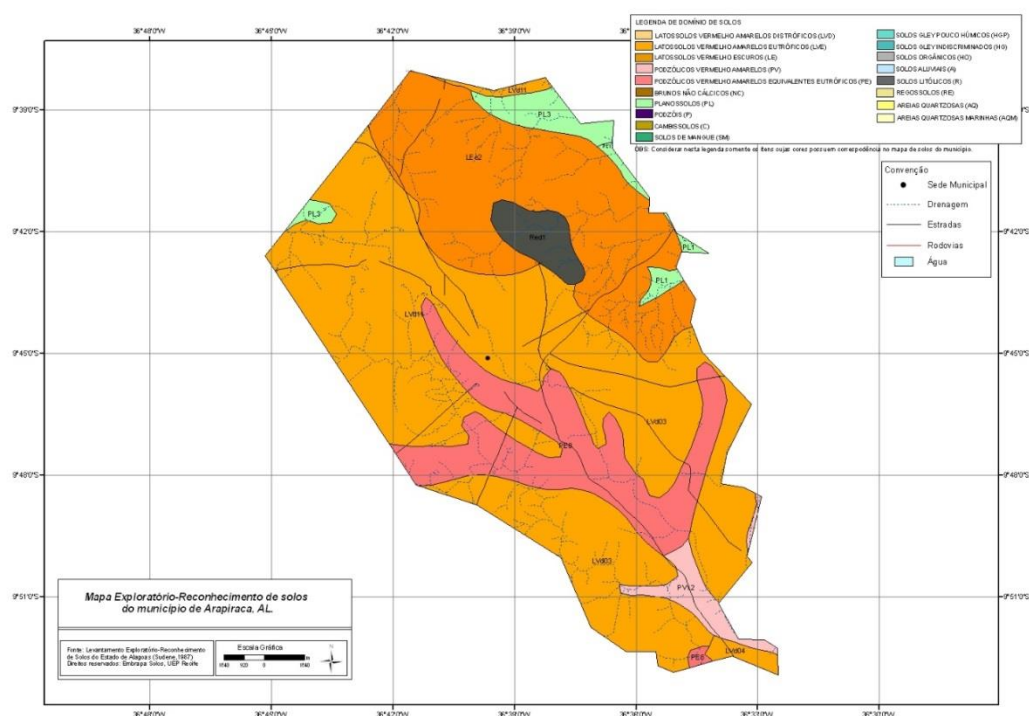


Figura 7 – Solos de Arapiraca-AL (Fonte: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/index.php?link=al>).

Como mostra a Figura 8, os limites do município são: ao Norte - Igaci e Craíbas; ao Sul - São Sebastião, Lagoa da Canoa e Feira Grande; a Leste - Limoeiro de Anadia, Junqueiro e Coité do Nória; a Oeste - Girau do Ponciano e Craíbas. A concentração de caminhos e a curta distância em relação a outras localidades, além da diversidade de acessibilidade oferecida, vêm fortalecer a cidade de Arapiraca enquanto um polo de atração territorial, exercendo grande influência sobre os municípios circunvizinhos e estados nordestinos.

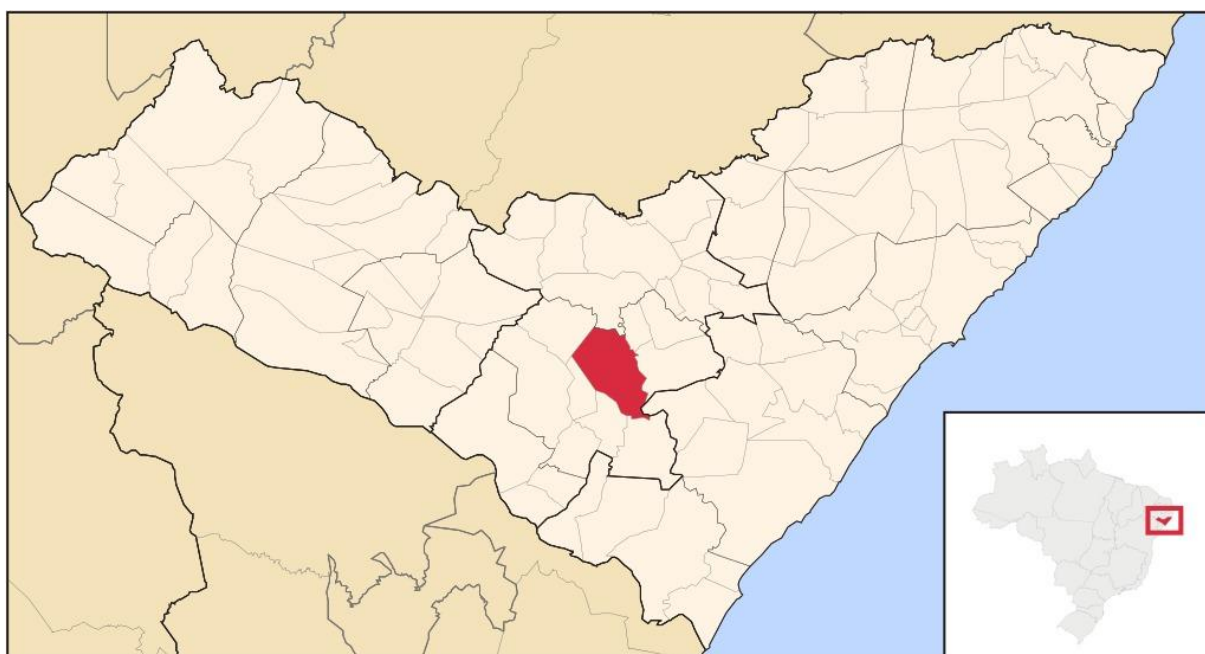


Figura 8 – Localização de Arapiraca (Fonte: Adaptado de QGis)

4.2 URBANIZAÇÃO DE ARAPIRACA

Arapiraca, a partir da década de 60, cresceu rapidamente, concentrando sua população na área urbana. Na década de 70, tanto a zona urbana quanto a rural cresceram significativamente, contudo a população urbana teve uma explosão populacional. Esta evolução do número de habitantes alcançou uma taxa média geométrica de crescimento anual superior à do Nordeste e a do Brasil e uma concentração populacional na zona urbana 7,2 vezes maior do que na década de 60.

A área urbana do município de Arapiraca possui duas bacias hidrográficas: a bacia do rio Perucaba, que drena os bairros localizados na parte oeste da cidade, e

a bacia do rio Piauí, demonstrada na Figura 9, que engloba a porção centro-leste da mancha urbana. Ambas as bacias vêm sofrendo uma intensa degradação ambiental ocasionada pelo rápido crescimento urbano-populacional, promovido nos anos 60, 70 e 80 pela explosão da cultura fumageira, que apesar de ser uma atividade agrária, atraiu muita gente para residir na cidade. A partir da década de 90, houve um declínio da produção de fumo; contudo a cidade já havia desenvolvido um amplo e diversificado comércio, consolidando-se como um pólo comercial e industrial para o interior do Estado de Alagoas.

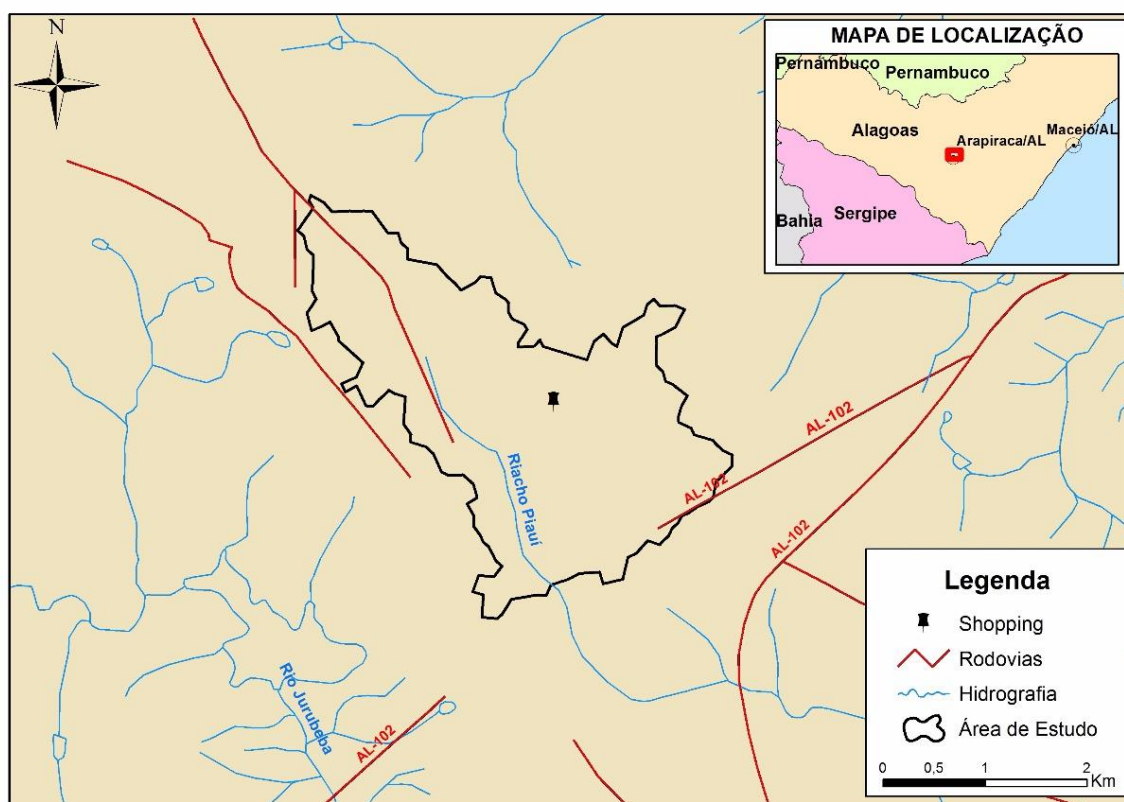


Figura 9 – Mapa da bacia hidrográfica do Riacho Piauí (fonte: Adaptado de QGis)

Os principais problemas ambientais do município em relação aos recursos hídricos são: diminuição da vegetação à margem dos rios, bem como a ocupação de suas margens; o lançamento de esgoto domiciliar e hospitalar, entre outros dejetos; a canalização de rios, decorrente do processo de urbanização, o que causou a submissão dos recursos naturais à dinâmica econômica de urbanização local.

Com os debates ambientais em pauta nos últimos anos, o município efetuou ações que visam promover a proteção do meio ambiente e também executando

medidas mitigadoras, tais como a realização do projeto de esgotamento sanitário da cidade e a implantação do Bosque Urbano das Arapiraca, este último com o objetivo de recuperar e preservar as nascentes do Riacho Seco, ao mesmo tempo, dotando a cidade de um pulmão verde e recompondo a vegetação das margens da antiga Lagoa das Olarias.

Apesar do interesse do município com as questões ambientais nos últimos anos, alguns empreendimentos foram surgindo e trouxeram preocupações quanto ordenamento do uso do solo, como o Arapiraca Garden Shopping que foi lançado em 2008 e construído em um terreno de mais de 63 mil metros quadrados doados pela prefeitura do município.

O shopping conta com 204 lojas, seis salas de cinema e ampla Praça de Alimentação com 23 operações na área de gastronomia, e 2.189 vagas de estacionamento, sendo o primeiro shopping do interior de Alagoas. O estabelecimento vai beneficiar mais de 900 mil habitantes que moram nas 32 cidades no entorno do Shopping, sendo uma nova opção de compras, lazer e entretenimento. Serão gerados três mil empregos diretos, sendo esperado um público diário de 15 mil consumidores.



Figura 10 – Arapiraca Garden Shopping (Fonte: <http://www.jaenoticia.com.br/noticia/2742/Ate-domingo-80-mil-pessoas-devem-passar-pelo-Arapiraca-Garden-Shopping>).

5. METODOLOGIA

No fluxograma apresentado logo abaixo (Figura 11) é possível notar, que o mesmo relata, de maneira objetiva, as principais etapas realizadas e modelos utilizados para a confecção da presente pesquisa.

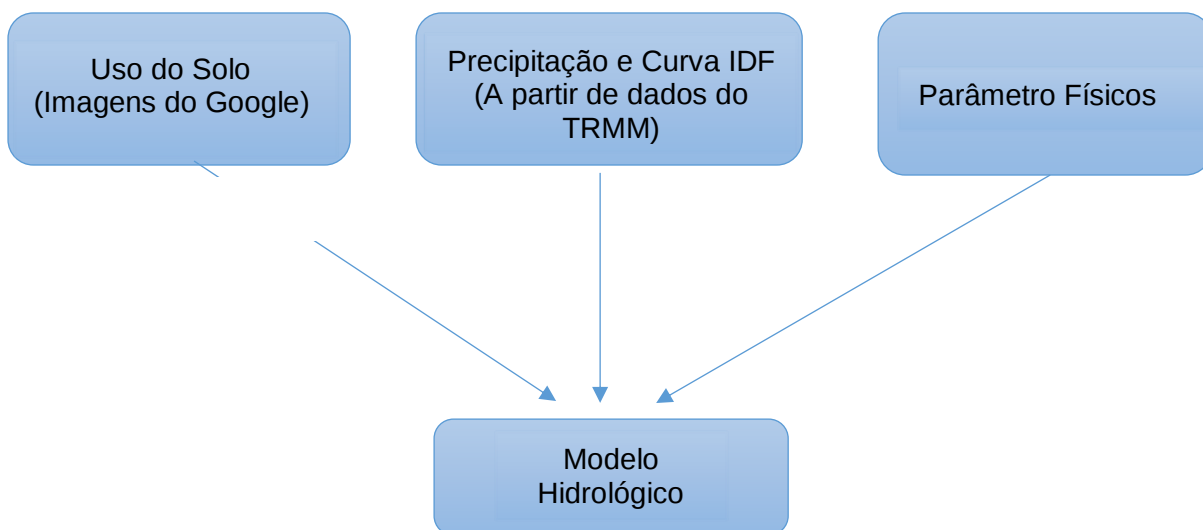


Figura 10 – Fluxograma metodológico do trabalho.

A busca para alcançar os objetivos do trabalho passou por várias etapas, que tinham por finalidade, a obtenção dos dados necessários para a determinação da variação das vazões decorrentes do escoamento superficial, e as consequências da urbanização na bacia onde está inserida a área de interesse. A sequência destas etapas foi a seguinte:

- **Caracterização física da Área de Estudo:** com base na preparação da base cartográfica de Arapiraca para a criação do modelo digital do terreno (MDT), O processo foi iniciado realizando uma delimitação baseada apenas em características topográficas da região. A partir daí, com base em dados da drenagem do estado de Alagoas e utilizando-se de sistemas de informação geográfica (*ArcGIS*), foi feita a delimitação da bacia hidrográfica;

- **Obtenção de imagens da bacia ao longo dos anos:** foram adquiridas imagens de satélite da região de interesse nos anos de 2001, 2011 e 2016, onde foi possível perceber um considerável aumento da urbanização.

- **Classificação do uso do solo da bacia ao longo dos anos:** os usos do solo da bacia foram classificados e as áreas calculadas manualmente por meio do programa QuantumGis.

- **Obtenção do parâmetro CN:** foi calculado um valor de CN médio para cada um dos anos estudados.

- **Desenvolvimento do Modelo hidrológico:** utilizando o modelo scs + hidrograma unitário + convolução, foram encontrados os hidrogramas resultantes das chuvas de projeto para cada um dos cenários. Estes serviram como base para análise de como o processo de urbanização na área da bacia interferiu no escoamento superficial ao longo dos anos.

5.1. OBTENÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

A princípio, era pretendido o uso de imagens de satélite provenientes do catálogo do INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), porém, a presença de nuvens nos cenários desejados e a baixa qualidade das imagens impediram uma classificação precisa do uso e ocupação do solo da bacia. Dessa forma, as imagens do Google se mostraram uma boa alternativa para a realização do estudo.

As imagens fornecidas pelo *Google Earth* são provenientes do programa Landsat, uma série de satélites desenvolvidos e lançados pela NASA a intervalos médios de 3 a 4 anos. A missão do programa é proporcionar a aquisição repetitiva de dados multiespectrais calibrados, com resolução espacial relativamente alta, se comparada à dos satélites para aplicações meteorológicas e oceanográficas, de modo global, para permitir comparações do estado da superfície terrestre ao longo do tempo (Novo, 2011).

5.2. CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS

A tentativa inicial de classificação da bacia foi por meio do programa ArcGis 10.3 de modo automático, porém, devido aos erros de alguns algoritmos do programa não foi possível realizar a classificação automática. Dessa forma, a classificação foi executada de manualmente pelo programa QGis 2.18.12.

A análise interpretativa das imagens de satélite da bacia do Riacho Piauí possibilitou a criação de mapas temáticos do uso e cobertura do solo para cada um

dos três cenários em estudo: 2001, 2011 e 2016. Avaliando as imagens, é possível observar que os cenários apresentam perfis semelhantes no tocante à predominância nas tipologias de uso e cobertura do solo responsáveis pela impermeabilização da superfície - zonas residenciais em geral, terrenos sem cobertura vegetal, áreas pavimentadas, e estradas em geral.

5.3. CÁLCULO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

5.3.1 DADOS FISIOLÓGICOS DA BACIA

Tempo de Concentração da Bacia

Tempo de concentração é o tempo em que leva para que toda a bacia considerada contribua para o escoamento superficial na seção estudada. Diversas fórmulas têm sido propostas para determinar esse parâmetro em função de características físicas da bacia, da sua ocupação e, eventualmente, da intensidade da chuva (Tucci, 2015). A equação mais utilizada tem sido a de Kirpich e o motivo se evidencia pelo fato de que normalmente ela fornece valores menores para t_c , o que resulta numa intensidade de chuva maior, por consequência, uma maior vazão de cheia. O tempo de concentração (t_c) foi calculado através da equação de Kirpich (equação), apresentada a seguir:

$$t_c = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \quad (01)$$

No qual:

H = diferença de elevação entre o ponto mais remoto da bacia e a seção principal (em metros);

L = comprimento do rio em km.

Área da Bacia

A área da bacia é um parâmetro fundamental para a análise do escoamento superficial da bacia, atualmente diversas ferramentas computacionais permitem a obtenção de áreas mapeadas, neste trabalho a área da bacia foi obtida através do programa QGis 2.18.12.

Precipitação

O trabalho de Gonçalves (2011) consta em estabelecer curvas IDF a partir de estimativas de precipitação pluvial por satélite, sendo uma fonte alternativa de dados pluviográficos. Os dados foram provenientes do satélite TRMM, oriundo de um projeto em parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), lançado em novembro de 1997 com o objetivo de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos (Batista *et al.*, 2016)

Para cada localidade estudada por Gonçalves (2011) foi ajustada uma distribuição estatística de Gumbel para os máximos anuais de 3, 6, 9, 12 e 24 horas, posteriormente foi feito um ajuste dos parâmetros a, b e d através do método de linearização com regressão múltipla. Assim, para o ajuste do parâmetro c, foi gerada uma série sintética com 5 minutos de duração através do método da desagregação. Logo, os parâmetros a, b, c, d e R² para a cidade de Arapiraca estão na Tabela 2 e a curva resultante na equação 2.

Tabela 2 - Valores dos parâmetros a, b, c, d e r² da IDF por Gonçalves (2011), ajustada para Arapiraca, Alagoas.

Parâmetro	a	b	c	d	r ²
Valor	358	0,22	4,7	0,66	0,997

Fonte: Gonçalves (2011)

A equação 2 a seguir é a encontrada por Gonçalves (2011) para curva IDF de Arapiraca:

$$i = \frac{358.T^{0,22}}{(t+4,7)^{0,66}} \quad (02)$$

Tendo em vista a carência de dados pluviográficos para a determinação das relações IDF utilizadas em planos e projetos de drenagem urbana e a dispersão destes dados no Brasil, uma massa cada vez maior de dados de sensoriamento remoto vem sendo disponibilizada em resoluções temporais e espaciais cada vez mais refinadas (Gonçalves, 2011). As estimativas de precipitação por satélite podem constituir-se em subsídio importante na estimativa de relações IDF. Esses foram os fatores intervenientes para a elaboração do trabalho de Gonçalves.

De acordo com Souza *et al.* (2017), em Arapiraca, observa-se que a aplicação da curva IDF obtida a partir de dados de sensoriamento remoto em relação à de

pluviógrafos apresenta pouca discrepância, mesmo considerando períodos distintos. As estimativas de precipitação por satélite representam uma alternativa viável para a obtenção de dados de precipitação, importantes para a elaboração de projetos e planos de drenagem urbana.

Considerando que um grande número de cidades brasileiras não possui monitoramento das chuvas por pluviógrafos e em algumas vezes esse instrumento não está presente nem nas proximidades de algumas cidades, isso mostra um exemplo onde a aplicação de estimativas de precipitação por satélite é mais evidente (Batista *et al.*, 2016).

Frequência da Chuva de Projeto

Em hidrologia, a frequência de uma chuva pode ser denotada pelo seu tempo de retorno, definido como o intervalo de tempo médio estimado para que o evento seja igualado ou excedido. Assim, no dimensionamento de estruturas de drenagem urbana, ao se decidir que a estrutura será projetada para suportar uma vazão oriunda de um evento chuvoso com tempo de retorno de T anos, implicitamente, está se decidindo o risco ao qual a população estará sujeita. Pois para eventos com tempo de retorno maior, ou seja, de menor frequência, a estrutura irá falhar (Tucci, 2009). Diante da dificuldade em se estabelecer objetivamente o tempo de retorno dos eventos para fins de projeto, algumas entidades fixaram tempos de retorno associados a cada tipo de obra e às características de ocupação da região. A Tabela 3 apresenta os períodos de retorno especificados pelo DAEE/CETESB (1980) comumente empregados.

Tabela 3 - Período de retorno para diferentes tipos de ocupação da área (Fonte: DAEE/CETESB, 1980 apud TUCCI, 2009).

Tipo de Obra	Tipo de ocupação da área	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios de serviço público	5
	Aeroportos	2 - 5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 - 10
Macro drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 - 100
	Áreas de importância específica	500

A partir das informações apresentadas na Tabela 3 e tendo em vista que a bacia do Riacho Piauí está localizada numa região urbana, foram escolhidos os tempos de retorno de 2, 5, 10 e 25 anos.

5.4. MODELO HIDROLÓGICO

5.4.1. SCS

Um dos métodos de utilização corrente, que se aplica especialmente quando não se dispõe de dados hidrológicos, é o do “*Soil Conservation Service*” (SCS) do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (TUCCI, 2015). Existe uma adaptação do método para os solos do estado de São Paulo, suficientemente aplicável a solos de outros estados.

A estrutura do método SCS, segundo Tucci (2005a), é dividida da seguinte forma:

- Precipitação de projeto – podendo ser determinada pelos conceitos de Precipitação Máxima Provável (PMP), ou precipitações baseadas em probabilidade de ocorrência.
- Determinação do volume superficial – onde o mesmo consiste na separação do escoamento superficial, tendo como parâmetro o conceito de *Curve Number* (CN), no qual o mesmo é determinado, relacionando o tipo e o uso do solo da bacia em análise.
- Propagação Superficial – onde, por fim, o volume superficial gerado na etapa anterior, é propagado até o curso d’água, utilizando o conceito de Hidrograma Unitário Sintético Triangular.

A equação para determinação da chuva efetiva, ou excedente, pelo método SCS é apresentada a seguir:

$$Q = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S} \quad (03)$$

Se:

Q = Precipitação efetiva, em mm;

P = Precipitação total, em mm;

S = Capacidade máxima da camada superior do solo.

A condição que torna possível o uso desta equação é a de que a precipitação total deve ser maior que 20% (valor que caracteriza as perdas iniciais em média) da capacidade máxima de armazenamento do solo, caso contrário, a precipitação efetiva tem valor nulo. A capacidade máxima de armazenamento da camada superior do solo é dada pela seguinte equação:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (04)$$

Quando:

CN = Curva número.

O valor de S depende do tipo e da ocupação do solo e pode ser determinado, facilmente, por tabelas próprias. A quantidade de $0,2S$ é uma estimativa de perdas iniciais (A_i), devidas à interceptação e retenção em depressões. Por essa razão, impõe-se a condição $P > 0,2S$. O parâmetro CN depende do tipo de solo, condições de uso e ocupação do solo e da umidade antessente.

O SCS distingue, em seu método, quatro grupos hidrológicos de solos.

GRUPO A – Solos arenosos com baixo teor de argila total, inferior a 8%, não havendo rochas nem camadas argilosas, e nem mesmo densificadas até a profundidade de 1,5m. Produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração (solos arenosos profundos com pouco silte e argila)

GRUPO B – Solos arenosos menos profundos que os do grupo A e com menor teor de argila total, porém ainda inferior a 15%. No caso de terras roxas, esse limite pode subir a 20% graças a maior porosidade.

GRUPO C - geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média (contém porcentagem considerável de argila). Pouco profundos.

GRUPO D – Solos argilosos (30 – 40% de argila total) e ainda com camada densificada a uns 50 cm de profundidade. Ou solos arenosos como B, mas com camada argilosa quase impermeável, ou horizonte de seixos rolados.

A Tabela 4 fornece valores de CN para os diferentes tipos de solo e respectivas condições de ocupação, onde, seguindo a ordem alfabética do tipo de solo (de A para D), teremos desde solos mais permeáveis, até solos menos permeáveis. Essa tabela refere-se à condição II de umidade antecedente do solo.

Tabela 4 - Valores de CN para bacias urbanas e suburbanas.

Utilização ou cobertura do solo	A	B	C	D
<i>Zonas Cultivadas: sem conservação do solo</i>	72	81	88	91
<i>com conservação do solo</i>	62	71	78	81
<i>Pastagens ou terrenos em más condições</i>	68	79	86	89
<i>Baldios em boas condições</i>	39	61	74	80
<i>Prados em boas condições</i>	30	58	71	78
<i>Bosques ou zonas florestais: cobertura ruim</i>	45	66	77	83
<i>cobertura boa</i>	25	55	70	77
<i>Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, boas condições:</i>	39	61	74	80
<i>com relva em mais de 75% da área</i>				
<i>com relva de 50 a 75% da área</i>	49	69	79	84
<i>Zonas comerciais e de escritórios</i>	89	92	94	95
<i>Zonas industriais</i>	81	88	91	93
<i>Zonas residenciais</i>				
<i>Lotes de (m²) %média impermeável</i>				
<i><500</i>	65	77	85	90
<i>1000</i>	38	61	75	83
<i>1300</i>	30	57	72	81
<i>2000</i>	25	54	70	80
<i>4000</i>	20	51	68	79
<i>Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.</i>	98	98	98	98
<i>Arruamentos e estradas</i>				
<i>Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais</i>	98	98	98	98
<i>Paralelepípedos</i>	76	85	89	91
<i>Terra</i>	72	82	87	89

(Fonte: TUCCI, 2012)

Condições de umidade antecedente do solo: o método SCS distingue três condições de umidade antecedente do solo:

CONDIÇÃO I – solos secos- as chuvas, nos últimos cinco dias, não ultrapassaram 15mm.

CONDIÇÃO II – situação média na época das cheias – as chuvas, nos últimos cinco dias, totalizaram de 15 a 40mm.

CONDIÇÃO III – solo úmido (próximo da saturação) – as chuvas, nos últimos cinco dias, foram superiores a 40mm, e as condições meteorológicas foram desfavoráveis a altas taxas de evaporação.

Cada grupo de classificação hidrológica do solo apresentando anteriormente possui uma certa taxa mínima de infiltração, o grupo A apresenta uma taxa maior que 7,62 mm/h, já a do grupo B está contida em um intervalo que vai de 3,81-7,62 mm/h, no grupo C a mesma vai de 1,27-3,81 mm/h e, por fim, no grupo D esta taxa é menor que 1,27 mm/h (TUCCI, 2012).

É possível notar que os conceitos dos grupos hidrológicos do solo apresentados pelo SCS são muito abrangentes, e tendo em vista as características do Brasil, o estudo se torna pouco consistente, pois, nessa classificação, não são considerados outros fatores além da textura do solo.

Também é possível notar uma certa falta de critérios bem definidos, por exemplo: a profundidade do solo é mencionada apenas nos grupos hidrológicos A e B, no grupo C estão, praticamente, os solos de textura moderadamente fina a fina, ou seja, solos compostos por silte e argila e já no grupo D encontram-se os solos argilosos. (SARTORI E GENOVEZ, 2009)

Diante disso, Sartori (2004), baseado na metodologia de classificação dos solos do estado de São Paulo apresentada por Lombardi Neto *et al.* (1989), o Quadro 1 mostra a proposta de classificação para os solos que, além da textura, são considerados outros fatores, como por exemplo: a profundidade; a razão textural entre o horizonte superficial e subsuperficial; e a permeabilidade, em posse da nomenclatura instituída pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos concluída em 1999.

Diante desses conceitos da classificação dos solos brasileiros, baseados no estado de São Paulo, propostos por Sartori (2004) e dos solos americanos baseados na classificação dos EUA, Pereira *et al.* (2013) realizaram uma comparação utilizando as duas classificações (Método SCS e de Sartori) em 4 eventos hidrológicos numa bacia localizada no Nordeste brasileiro (bacia do rio Gameleira – PE), verificando assim melhores resultados de vazões para a classificação proposta por Sartori, devido aos valores de vazões estimados pelas classificações do método SCS apresentarem uma tendência em superestimá-los.

Grupo Hidrológico A: 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 B: LATOSSOLO AMARELO e LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, ambos de textura média, mas com horizonte superficial de textura arenosa; LATOSSOLO BRUNO; NITOSSOLOVERMELHO; NEOSSOLO QUARTZARÊNICO; ARGISSOLO VERMELHO ou VERMELHO AMARELO de texturaarenosa/média, média/argilosa, argilosa/argilosa ou argilosa/muito argilosa que não apresentam mudança textural abrupta.
Grupo Hidrológico C: 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 D: NEOSSOLOLITÓLICO; ORGANOSSOLO; GLEISSOLO; CHERNOSSOLO; PLANOSSOLO; VERTISSOLO; ALISSOLO; LUVISSOLO; PLINTOSSOLO; SOLOS DE MANGUE; AFLORAMENTOS 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.

Quadro 1 - Classificação hidrológica dos solos brasileiros (fonte: SARTORI, 2014).

A aplicação do método SCS a áreas urbanizadas pode ser feita de duas formas. Uma delas é fazer uso de tabelas que levam em conta os tipos de ocupação do solo e características de áreas urbanas. Se a bacia apresentar diversos tipos de solo e de ocupação, deve-se adotar o valor de CN obtido pela média ponderada dos diversos CNs correspondentes às áreas homogêneas (Tucci, 2015).

5.4.2. HIDROGRAMA UNITÁRIO

Denomina-se hidrograma unitário (HU), o hidrograma característico da bacia correspondente à resposta da mesma à chuva efetiva uniforme de certa duração t_d e altura pluviométrica igual a 1cm. O hidrograma unitário de uma bacia hidrográfica é uma ferramenta muito útil para a transformação de dados de chuva em vazão, especialmente quando se necessita não somente da vazão máxima de projeto, mas do comportamento da vazão de cheia ao longo do tempo.

No método do hidrograma unitário, admite-se que a bacia hidrográfica se comporta como um sistema linear. Para a aplicação do método, as chuvas complexas devem ser subdivididas em chuvas simples. Assim, se for conhecido o hidrograma resultante de uma chuva simples, poderá ser facilmente determinado o hidrograma correspondente à chuva complexa. Para isso, o método apoia-se na principal propriedade dos sistemas lineares, que é a superposição dos efeitos.

O método do hidrograma unitário foi apresentado por Sherman, em 1932, e mais tarde foi aperfeiçoado por outros. Segundo Sherman, para chuvas de distribuição uniforme e intensidade constante sobre toda a bacia, admitem-se as seguintes proposições básicas:

- i) em uma dada bacia hidrográfica, para as chuvas de uma mesma duração, as durações dos escoamentos superficiais correspondentes são iguais;
- ii) duas chuvas de mesma duração, mas com alturas pluviométricas efetivas diferentes, resultam em hidrógrafas cujas ordenadas são, a cada tempo, proporcionais às correspondentes alturas pluviométricas;
- iii) precipitações anteriores não influenciam a distribuição no tempo do escoamento superficial resultante de uma outra chuva.

A partir de um estudo com um grande número de bacias e de hidrogramas unitários nos EUA, técnicos do Departamento de Conservação de Solo (Soil Conservation Service – atualmente Natural Resources Conservation Service) verificaram que os hidrogramas unitários podem ser aproximados por relações de tempo e vazão estimadas com base no tempo de concentração e na área das bacias. Para simplificar ainda mais, o hidrograma unitário pode ser aproximado por um triângulo, definido pela vazão de pico e pelo tempo de pico e pelo tempo de base, conforme a Figura 11.

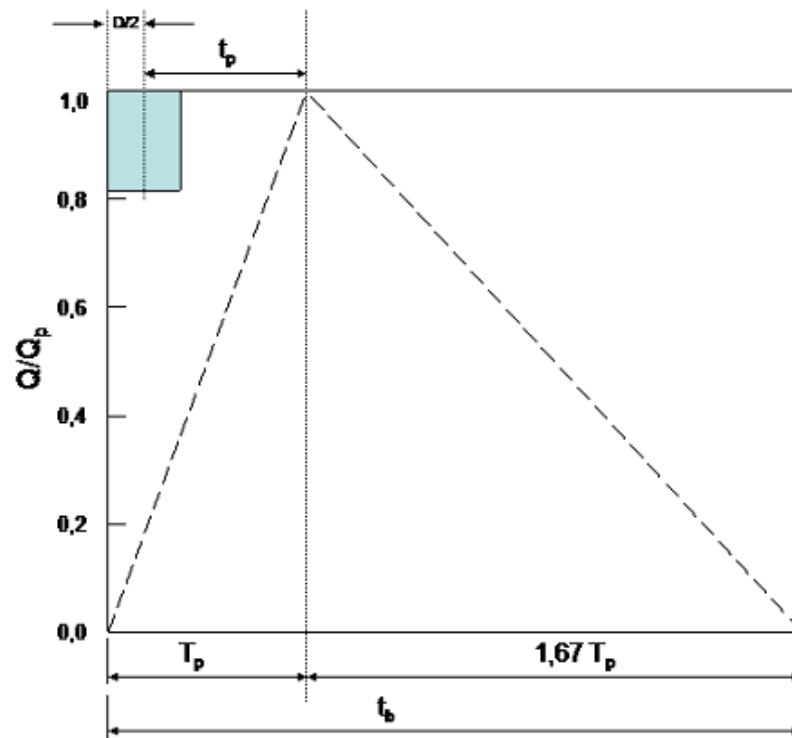


Figura 11 – hidrograma unitário triangular.

As relações identificadas, que permitem calcular o hidrograma triangular são descritas abaixo, de acordo com o texto de CHOW et al. (1988). O tempo de pico t_p do hidrograma pode ser estimado como 60% do tempo de concentração:

$$t_p = 0,6 \cdot t_c \quad (6)$$

Sendo que t_p é o tempo de pico e t_c é o tempo de concentração da bacia, que pode ser estimado pela equação de kirpich.

O tempo de subida do hidrograma T_p pode ser estimado como o tempo de pico t_p mais a metade da duração da chuva D , assim:

$$T_p = \frac{D}{2} + 0,6 \cdot t_c \quad (07)$$

$$D = 0,133 \cdot t_c \quad (08)$$

O tempo de base do hidrograma (t_b) é aproximado por:

$$t_b = 2,67 \cdot t_c \quad (09)$$

A vazão de pico do hidrograma unitário triangular é estimada por:

$$Q_p = \frac{2,08 \cdot A}{t_a} \quad (10)$$

Quando se deseja obter o hidrograma para uma determinada tormenta de projeto: “o hietograma deverá ser discretizado em intervalos de tempo iguais à duração unitária e executar a convolução dos hidrogramas obtidos com cada bloco de chuva excedente de 5 minutos de duração ” (SMDU, 2012, p.32).

Convolução é processo de obter o hidrograma final pela composição linear dos diversos hidrogramas unitário defasados. Em outras palavras, o hidrograma unitário sintético é multiplicado pela chuva excedente correspondente a cada intervalo de tempo, passando pelos processos de translação do tempo, multiplicação e adição (Tomaz, 2013), conforme pode ser visto pela Figura 12 que traz um exemplo de convolução para dois eventos.

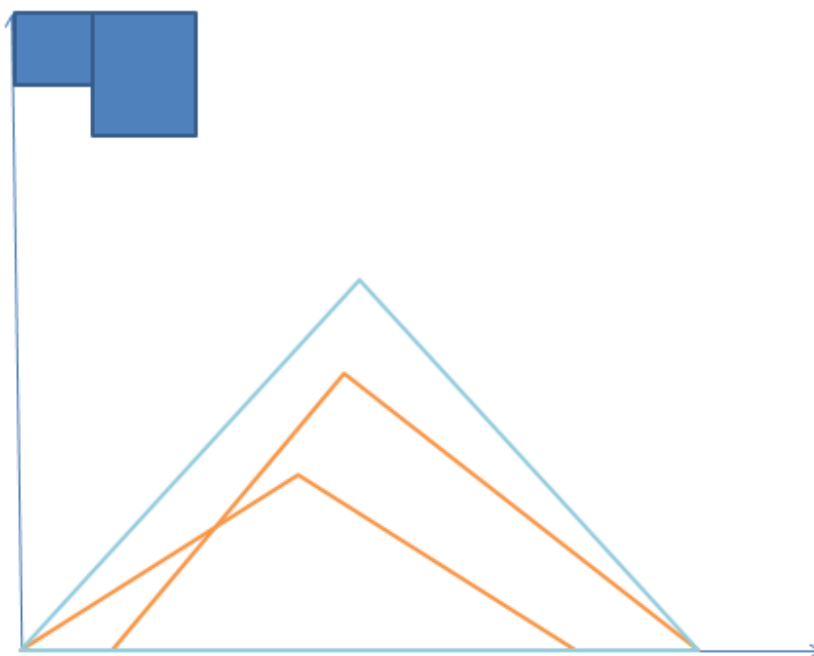


Figura 12 - Convolução dos hidrogramas.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. OBTENÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

As imagens obtidas do Google para todos os cenários analisados foram georreferenciadas no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 24S, datum SAD-69, pelo programa QGis 2.18.12. As imagens da bacia estudada foram obtidas para os cenários de 2001, 2011 e 2016, como demonstrado nas Figuras 13, 14 e 15.

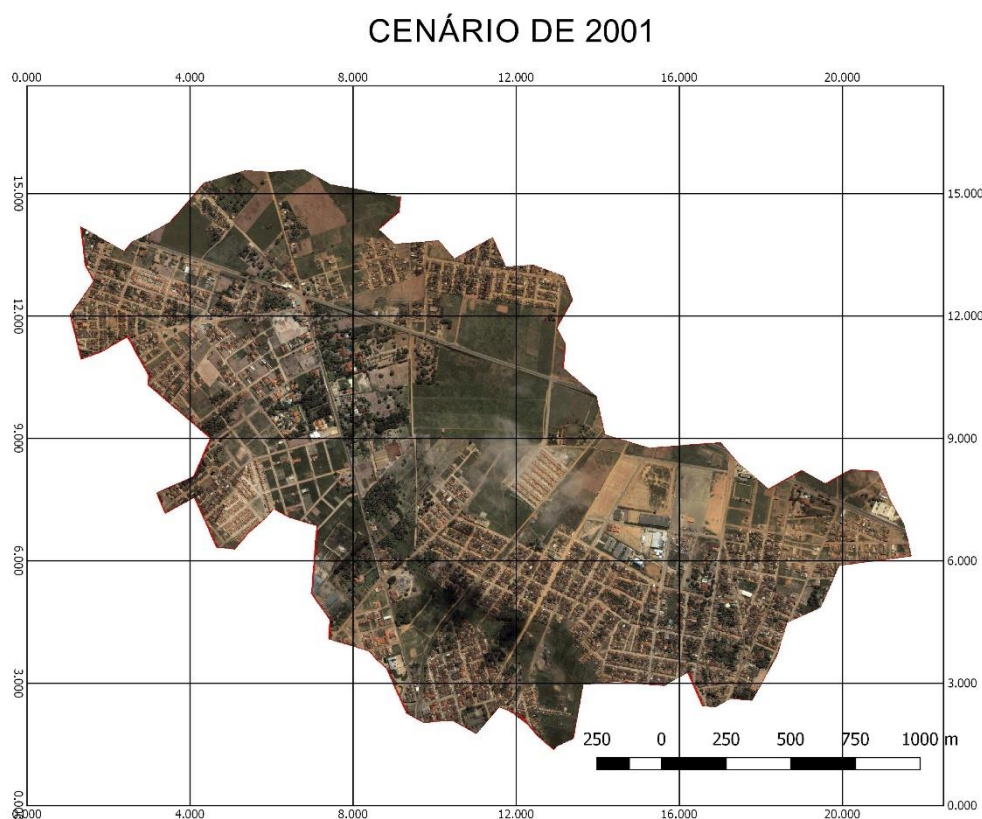


Figura 13 – Cenário de 2001. (Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de QGis)

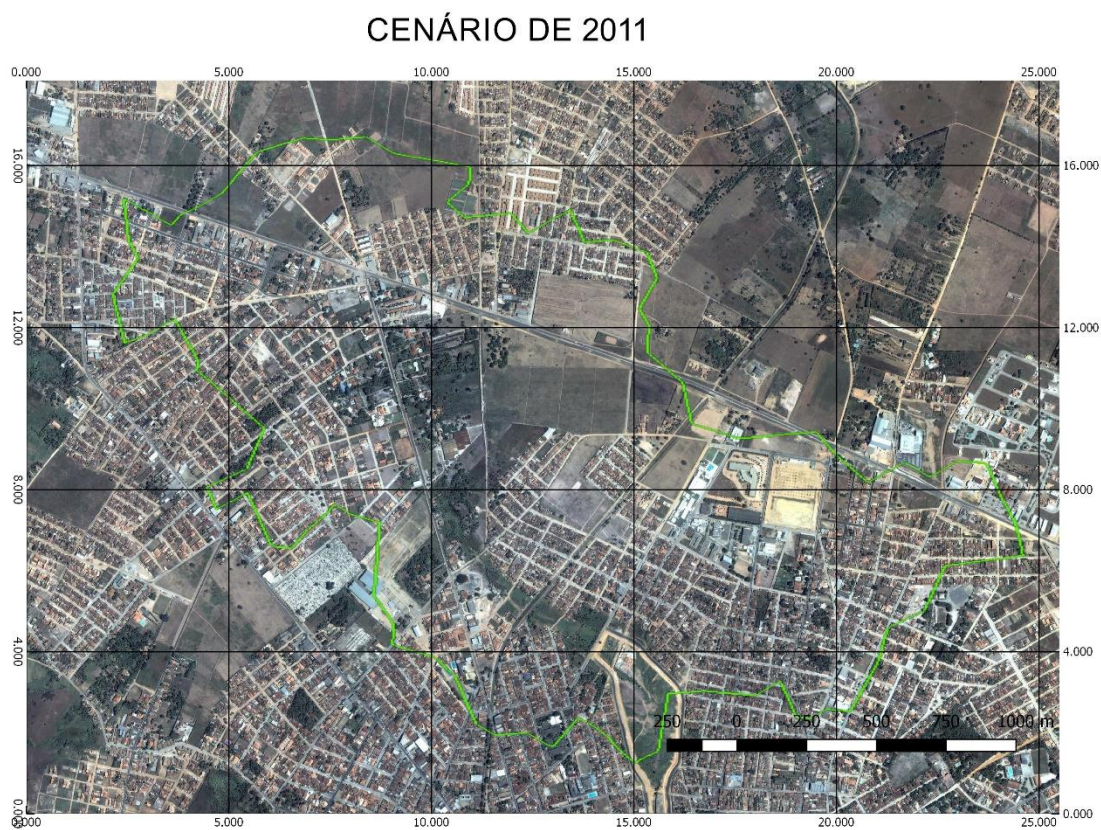


Figura 14 – Cenário de 2011. (Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de QGis)

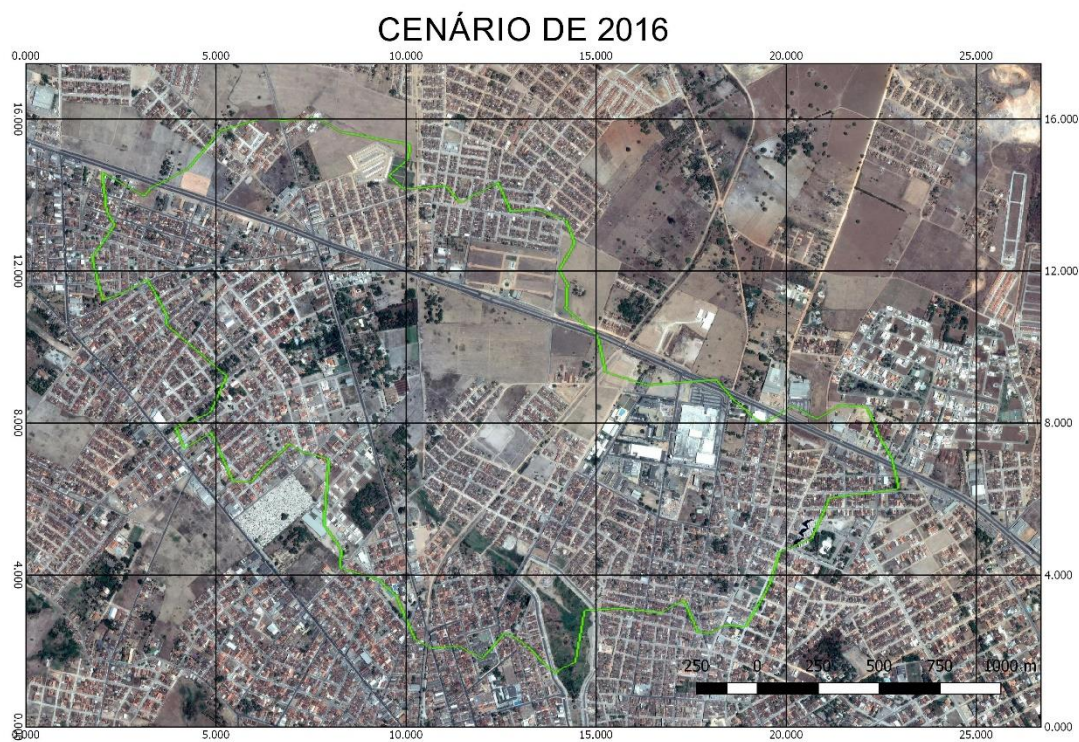


Figura 15 – Cenário de 2016. (Fonte: Elaborado pelo autor, adaptado de QGis)

6.2. CLASSIFICAÇÃO DAS IMAGENS

Utilizando o programa QGis para a delimitação manual dos diferentes usos e coberturas do solo, foi possível perceber um aumento significativo nas áreas impermeabilizadas da bacia. A tabela 5 mostra a porcentagem correspondente a cada uso do solo presente na bacia e a sua respectiva porcentagem, para todos os cenários analisados.

Tabela 5 – Porcentagem do Uso do solo nos cenários estudados.

	USO DO SOLO (%)			
	Urbano	Pastagem	Floresta	Solo Exposto
2001	29.56	29.17	7.18	34.08
2011	45.00	20.54	6.68	27.87
2016	62.00	2.36	4.60	31.07

O gráfico de barras da Figura 16 apresenta como ocorreu a alteração no uso e cobertura do solo da bacia do Riacho do Piauí entre os três cenários para cada tipologia considerada neste trabalho. No gráfico, cada segmento da barra é proporcional à razão entre a área de cada tipo de uso e cobertura do solo e a área da bacia em estudo, de modo que as porcentagens das diferentes tipologias representam 100%.

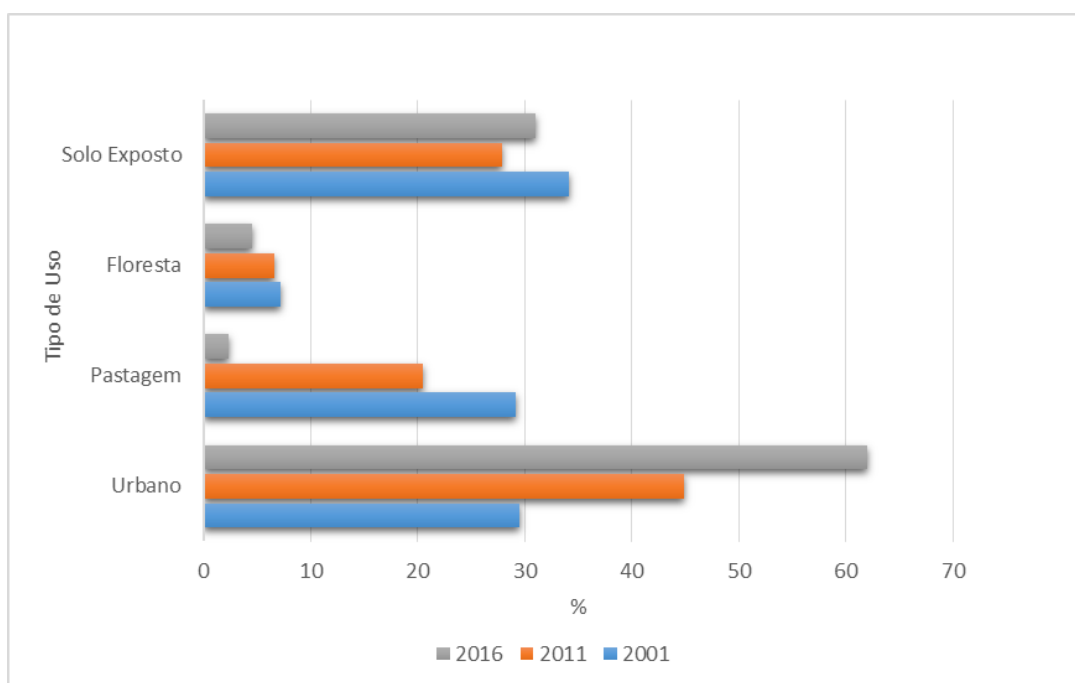


Figura 16 – Comparação da alteração do uso do solo da bacia. (Fonte: Elaborado pelo Autor)

Nos três cenários, a área urbana é uma parcela representativa da bacia corresponde à zona residencial com lotes até 500 m². Dessa forma, é possível observar que a área impermeabilizada da bacia teve um grande aumento, passando de 29,56% em 2001 para 62% em 2016. BARROS, (2013) observou um aumento da área impermeabilizada de uma sub-bacia do Riacho do Sapo, em Maceió-AL, de 59% em 2002, para 78% em 2010, onde a construção de um grande empreendimento na bacia também foi o fator agravante para o aumento da área impermeabilizada. De fato, observando-se as imagens das Figuras 17, 18 e 19, é possível notar que a área urbana está bem distribuída por toda a bacia.



Figura 17 – Área Urbana da bacia em 2001.

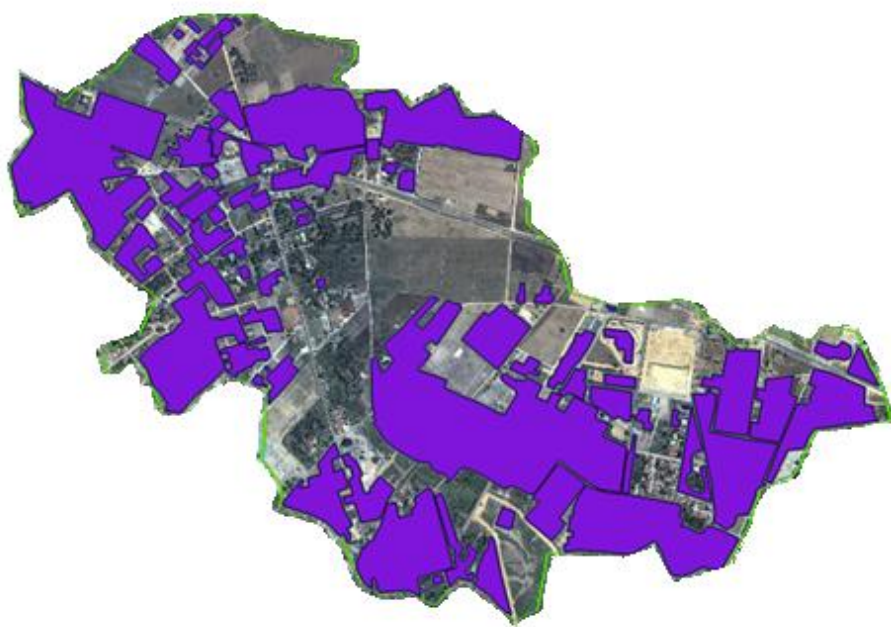


Figura 18 – Área Urbana da bacia em 2011.



Figura 19 – Área Urbana da bacia em 2016.

6.3. CÁLCULO DO ESCOAMENTO SUPERFICIAL

6.3.1 DADOS FISIOLÓGICOS DA BACIA

Tempo de Concentração e Área da Bacia

A partir da análise de Silveira (2005), decidiu-se usar a fórmula de Kirpich, pois apesar da bacia em estudo neste trabalho ser uma bacia urbana, existem partes de sua área que tem características rurais. A fórmula de Kirpich, segundo Silveira (2005) obteve um bom desempenho tanto em bacias com características de ocupação rural (quarto melhor desempenho) quanto de urbana (terceiro melhor desempenho).

A elevação do ponto mais remoto das sub-bacias foi obtida através do *software Google Earth Pro*, assim como a elevação da seção principal e concomitantemente o comprimento do rio correspondente à área de drenagem (Figura 20), valores necessários para o cálculo do tempo de concentração da bacia. Sendo:

- Cota do ponto mais alto: 285m
- Cota do ponto mais baixo: 264m.
- Comprimento da drenagem principal: 1,5km.

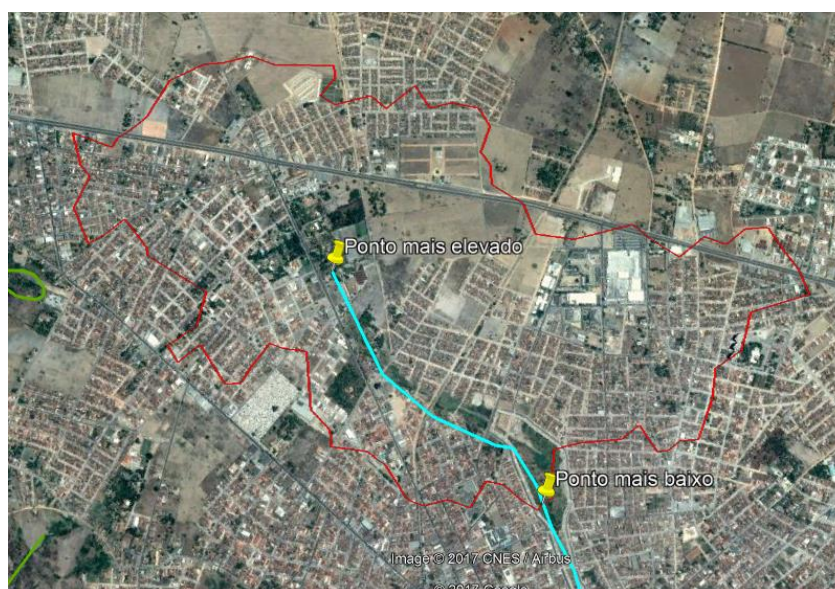


Figura 20 – Dados Geográficos da Bacia. (Fonte: Elaborado pelo Autor, adaptador de Google Earth Pro, 2017)

Em posse desses dados, foi possível calcular o tempo de concentração da bacia através da fórmula de Kirpich, sendo $t_c = 28,2 \text{ min}$. Como mostra a Figura 21, a área da bacia foi obtida automaticamente pelo software QGis, sendo correspondente a $3,72 \text{ km}^2$.

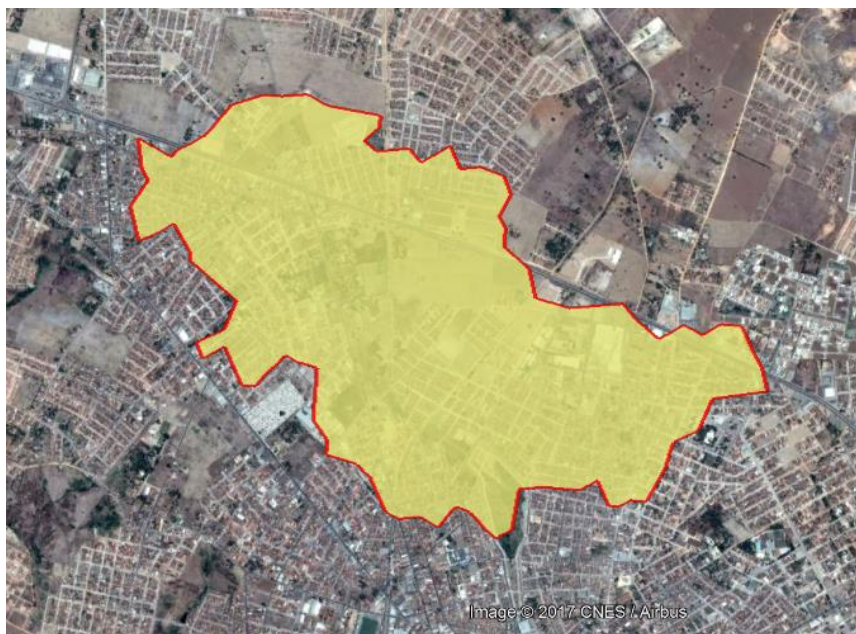


Figura 21 – Área da Bacia.

Precipitação

A análise da pluviometria da cidade de Arapiraca, onde se encontra a bacia em estudo, foi realizada com base na equação de Gonçalves (2011), a partir dos valores constantes encontrados por Gonçalves para a cidade. A partir das informações apresentadas na Tabela 2, sobre as constantes obtidas por Gonçalves para Arapiraca e tendo em vista que a bacia do Riacho Piauí está localizada numa região urbana, foram escolhidos os tempos de retorno de 2, 5, 10 e 25 anos, a figura 23 mostra as precipitações obtidas por esse método.

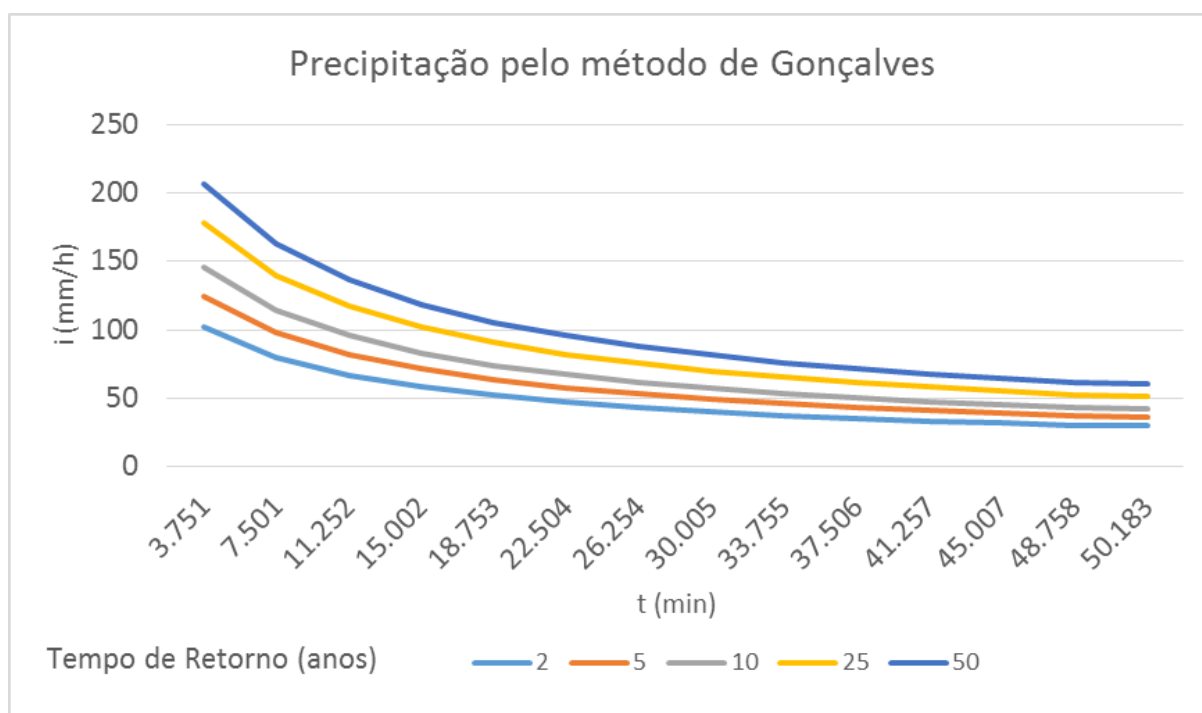


Figura 22 – Precipitação pelo método de Gonçalves para todos os tempos de retorno estudados.

A tabela 6, por sua vez, mostra as precipitações encontradas pelo método de Gonçalves para todos os tempos de retorno:

Tabela 6 – Precipitações pelo método de Gonçalves.

T(MIN)	I(MM/H)				
	Tr (anos)				
	2	5	10	25	50
3.75	101.94	124.71	145.26	177.70	206.97
7.50	80.00	97.87	113.99	139.45	162.42
11.25	67.03	82.00	95.51	116.84	136.08
15.00	58.31	71.33	83.08	101.64	118.38
18.75	51.97	63.58	74.05	90.59	105.52
22.50	47.13	57.65	67.15	82.14	95.68
26.25	43.27	52.94	61.66	75.43	87.86
30.00	40.13	49.09	57.18	69.95	81.47
33.76	37.50	45.88	53.43	65.37	76.14
37.51	35.27	43.14	50.25	61.47	71.60
41.26	33.34	40.79	47.50	58.11	67.69
45.01	31.66	38.73	45.11	55.18	64.27
48.76	30.17	36.91	42.99	52.59	61.26
50.18	29.65	36.28	42.25	51.69	60.20

6.4. MODELO HIDROLÓGICO

6.4.1. SCS

Para estimar a parcela do escoamento superficial pelo modelo SCS, é necessária uma formulação que relaciona o volume de água infiltrado (d), capacidade máxima de absorção do solo (S), precipitação efetiva (Q) e a precipitação total (P) (Tucci, 2004). A determinação de S é feita através de um fator, o CN, que varia numa escala de 1 a 100. Esta variação tenta retratar condições de cobertura (cobertura impermeável – limite inferior; cobertura permeável – limite superior) e tipo de solo para bacias rurais e urbanas.

De acordo com a classificação dos solos de Arapiraca feito pela EMBRAPA, foi possível perceber que o solo predominante na região onde está inserida a bacia do Riacho Piauí é do tipo Latossolo Vermelho Amarelo, o que permite considerar, segundo o Quadro 1, o solo da bacia como sendo do tipo B. Os valores de CN foram obtidos de acordo com a Tabela 3, considerando o tipo de solo B, os seguintes valores de CN para as tipologias definidas foram encontrados:

- Área Urbana, CN=85, para lotes residenciais de até 500m².
- Pastagem, CN=69, para pasto em médias condições.
- Floresta, CN=66, para floresta em condições ruins.
- Solo Exposto, CN= 82, considerado para estradas de terra.

Após a escolha do parâmetro CN e determinação da área de cada tipologia, foi encontrado o valor do CN médio para cada cenário estudado, como mostra a tabela 7 e a Figura 23.

Tabela 7 – CN médio dos cenários.

ANO	2001	2011	2016
CN	77.97	79.6	82.84

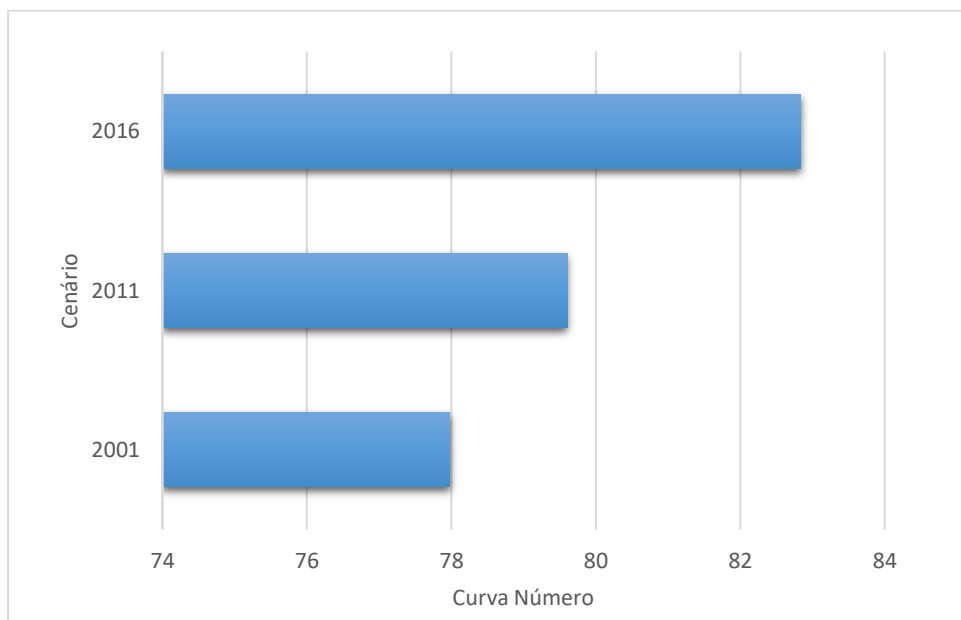


Figura 23 – Comparativo entre os valores de CN.

O aumento do CN que pode ser observado entre os cenários estudados se deve ao grande avanço no uso e ocupação verificado na Bacia do Riacho Piauí após a construção do Arapiraca Garden Shopping. O menor valor de CN em 2001 se deve a ocupação que havia nesse cenário antes da construção do empreendimento, onde a área impermeabilizada ocupava apenas 29,6% da bacia, ao contrário do percentual de 62% em 2016.

6.4.2 HIDROGRAMA UNITÁRIO

O hidrograma característico da bacia correspondente à resposta da mesma à chuva efetiva uniforme de certa duração t_d e altura pluviométrica igual a 1 cm. O hidrograma unitário da bacia hidrográfica é uma ferramenta muito útil para a transformação de dados de chuva em vazão, especialmente quando se necessita não somente da vazão máxima de projeto, mas do comportamento da vazão de cheia ao longo do tempo.

De acordo com as equações descritas no tópico 5.4.2 o tempo de subida do hidrograma T_p é igual a 0,31h, o tempo de base do hidrograma (t_b) é igual a 0,84h e a vazão de pico do hidrograma unitário triangular é $Q_p = 2,47 \text{ m}^3/\text{s}$. A Figura 24 mostra o hidrograma unitário correspondente a bacia do Riacho Piauí.

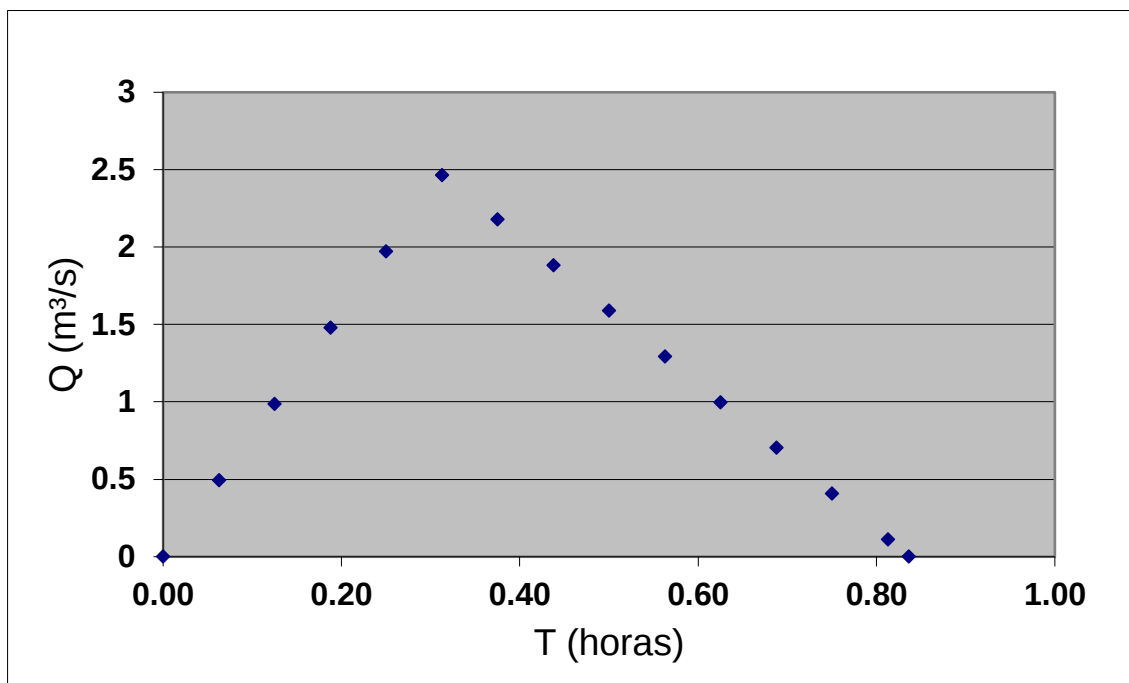


Figura 24 – Hidrograma unitário triangular da bacia do Riacho Piauí.

Em posse de todos os valores obtidos do modelo SCS e hidrograma unitário, o próximo passo é a Convolução, processo de obter o hidrograma final pela composição linear dos diversos hidrogramas unitário defasados. Em outras palavras, o hidrograma unitário sintético é multiplicado pela chuva excedente correspondente a cada intervalo de tempo, passando pelos processos de translação do tempo, multiplicação e adição, da convolução foi possível obter o volume escoado na bacia por unidade de metros quadrado, como mostram a Tabela 8 e a Figura 25.

Tabela 8 – Volume escoado em cada um dos cenários.

	VOLUME ESCOADO (L/M²)				
	Tr (anos)				
	2	5	10	25	50
2001	1.161423	2.634354	4.361542	7.719838	11.29222
2011	1.609484	3.327624	5.274554	8.969622	12.83081
2016	2.785962	5.034435	7.447763	11.84359	16.29381

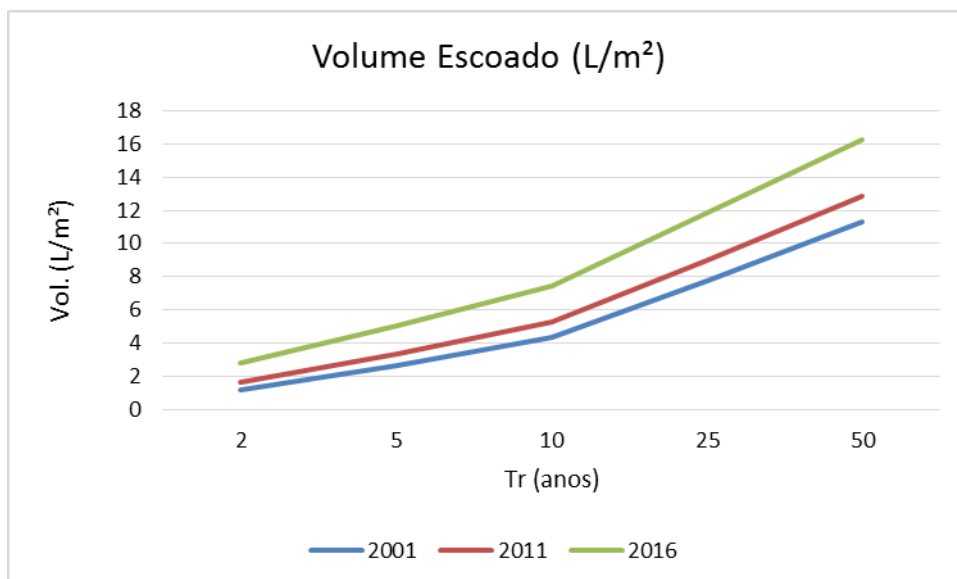


Figura 25 – Volume escoado em cada um dos cenários.

Na figura 26, destaca-se a elevada diferença do escoamento apresentado pela bacia entre 2001 e 2016, este fato se deve principalmente ao alto percentual de impermeabilização verificado na bacia, com reflexo direto sobre o fator CN, conforme já comentado anteriormente. Diante disto, a bacia sofre uma grande diminuição na sua capacidade de infiltração, convertendo maior parte da chuva em escoamento superficial no cenário de 2016 do que em 2001.

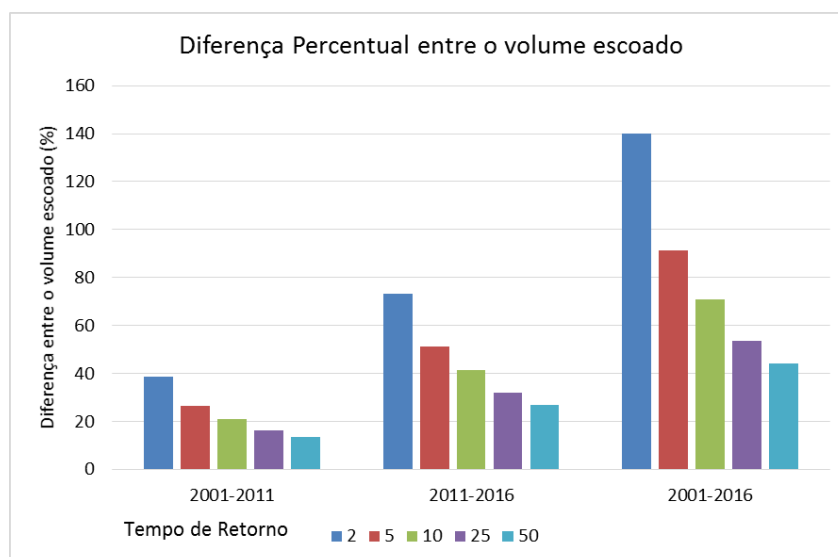


Figura 26 – Diferença entre o volume escoado.

Como resultado da aplicação das fórmulas do modelo SCS, hidrograma unitário e convolução foi obtido também o hidrograma de cheia, os hidrogramas estão demonstrados nas figuras 27 a 31, para todos os cenários e tempos de retorno estudados.

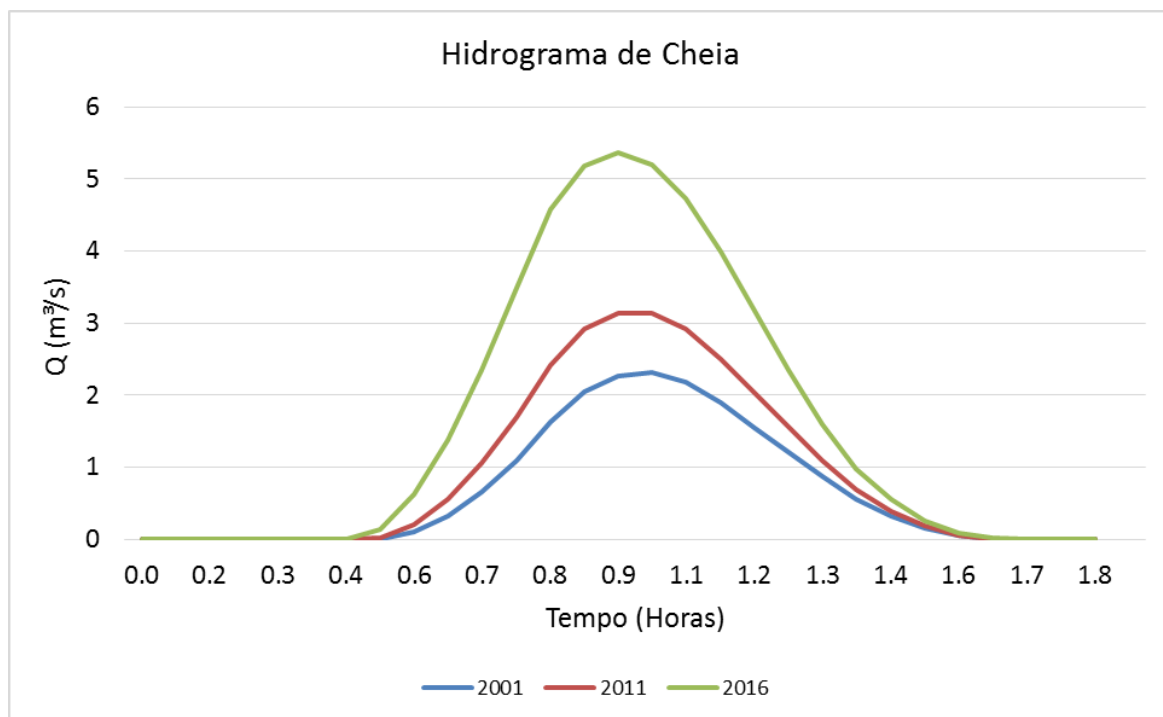


Figura 27 – Hidrograma de cheia para o tempo de retorno de 2 anos, cenários de 2001, 2011 e 2016.

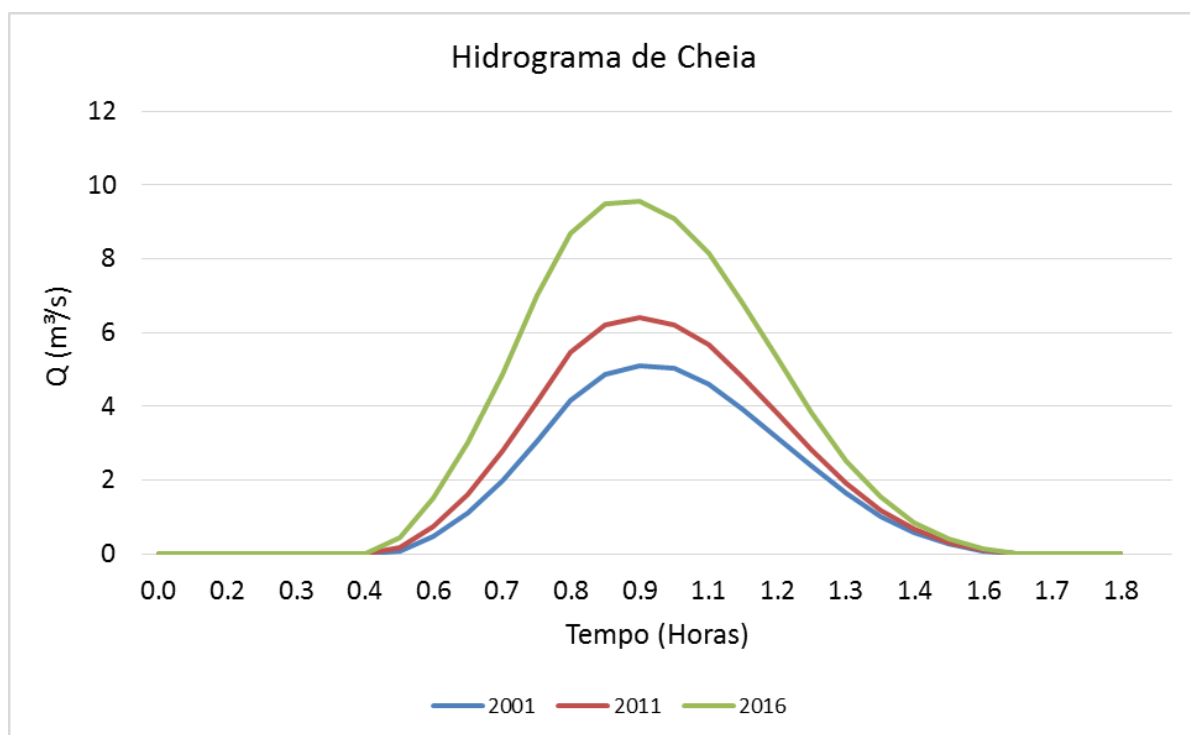


Figura 28 – Hidrograma de cheia para o tempo de retorno de 5 anos, cenários de 2001, 2011 e 2016.

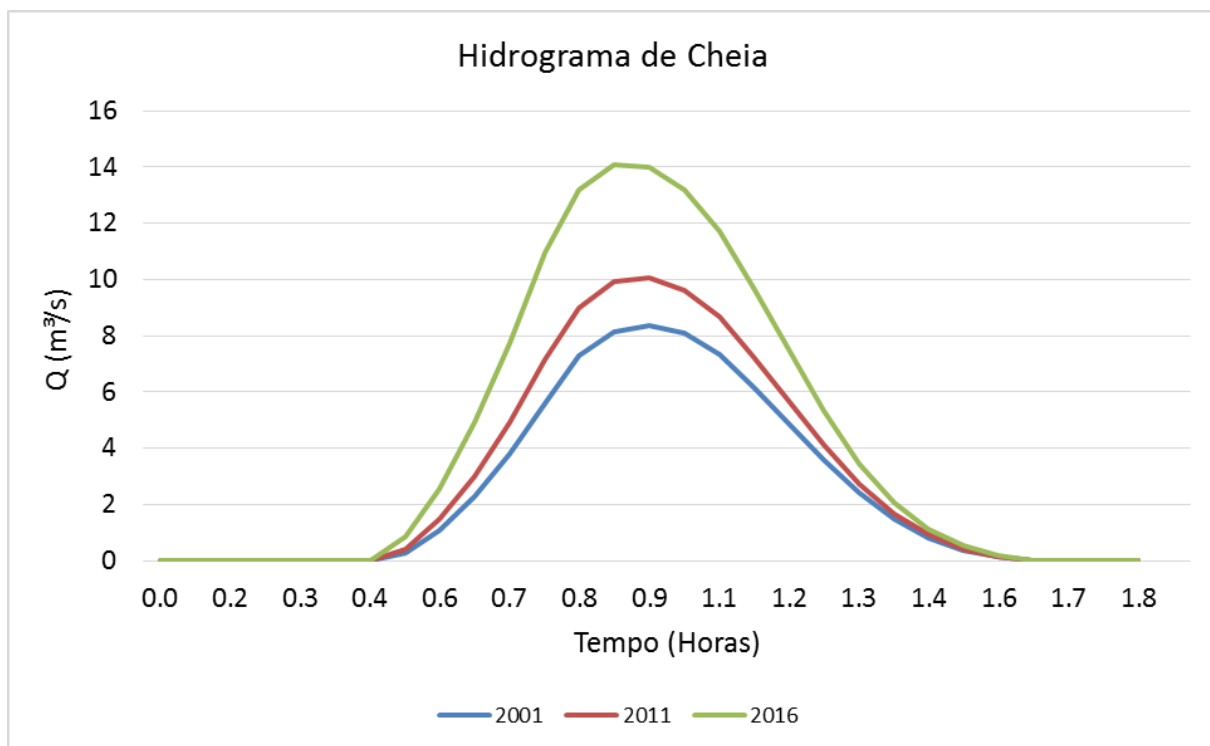


Figura 29 – Hidrograma de cheia para o tempo de retorno de 10 anos, cenários de 2001, 2011 e 2016.

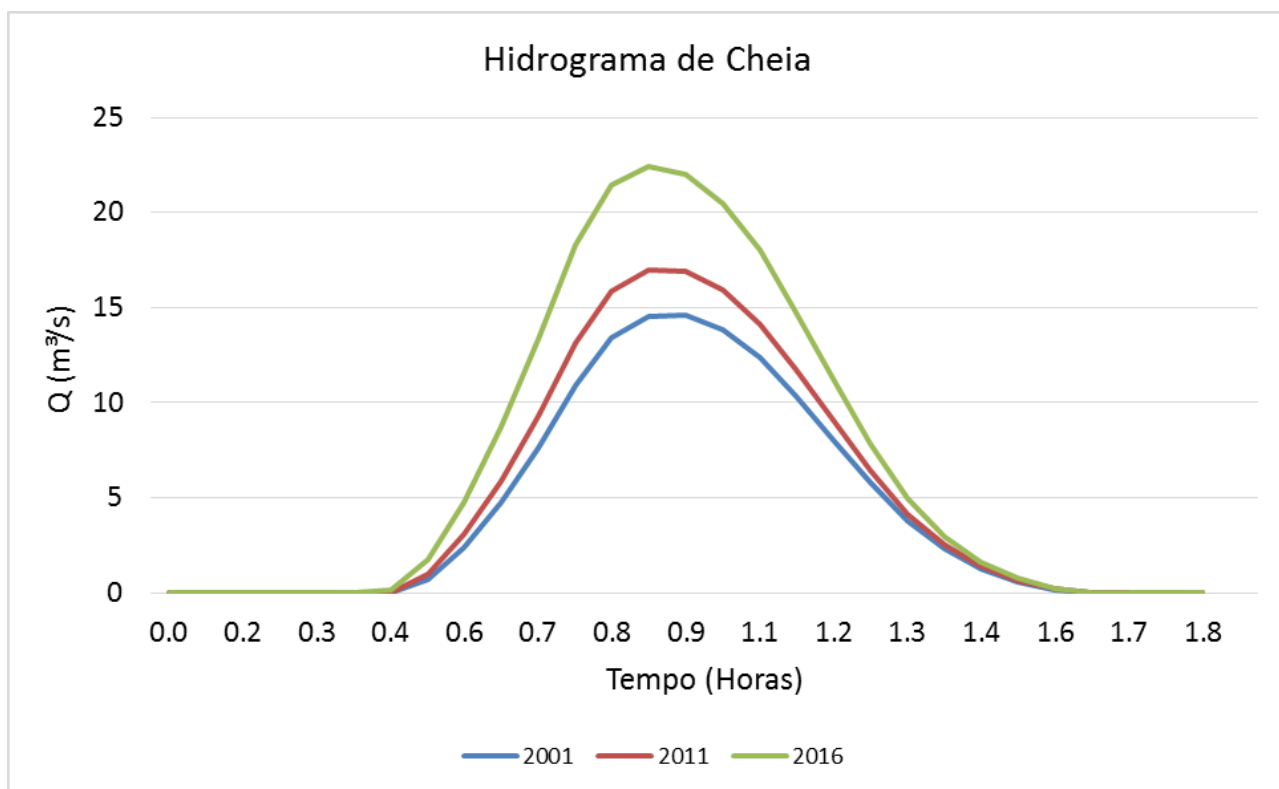


Figura 30 – Hidrograma de cheia para o tempo de retorno de 25 anos, cenários de 2001, 2011 e 2016.

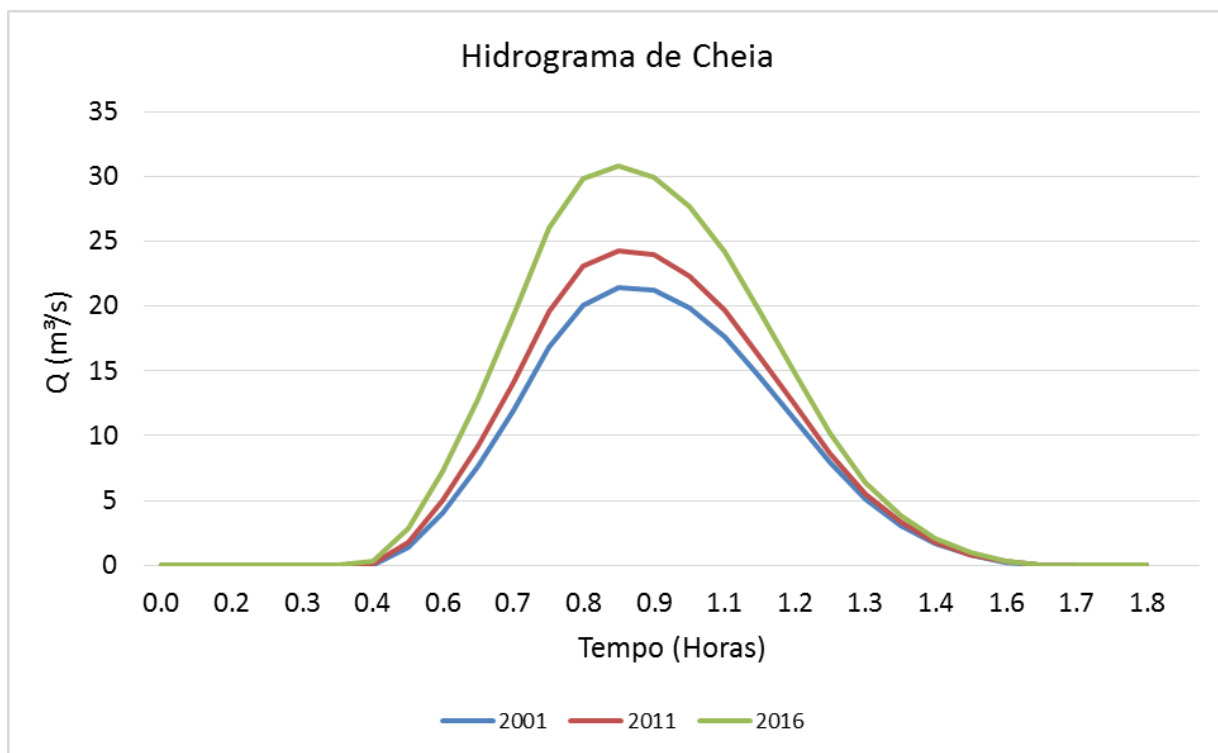


Figura 31 – Hidrograma de cheia para o tempo de retorno de 50 anos, cenários de 2001, 2011 e 2016.

A vazão de pico para cada um dos cenários e tempos de retorno estão na Figura 32 e Tabela 9, e as diferenças percentuais de vazões entre os cenários analisados na Figura 33.

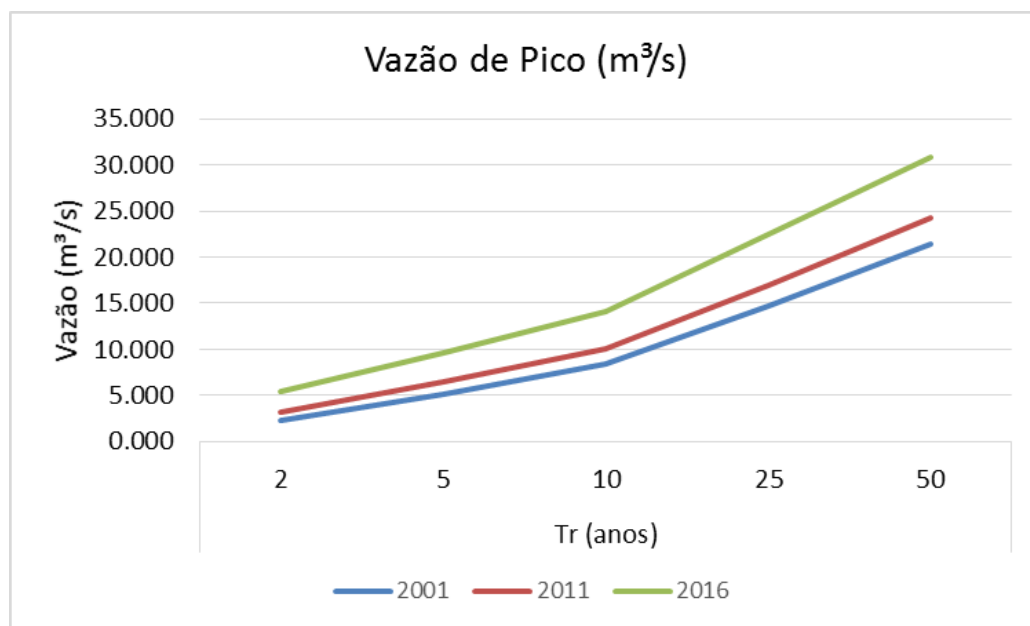


Figura 32 – Comparação entre as vazões de pico.

Tabela 9 – Vazões de Pico.

	VAZÃO DE PICO (M³/S)				
	Tr (anos)				
	2	5	10	25	50
2001	2.310	5.111	8.374	14.628	21.376
2011	3.141	6.413	10.061	16.965	24.304
2016	5.365	9.566	14.090	22.435	30.836

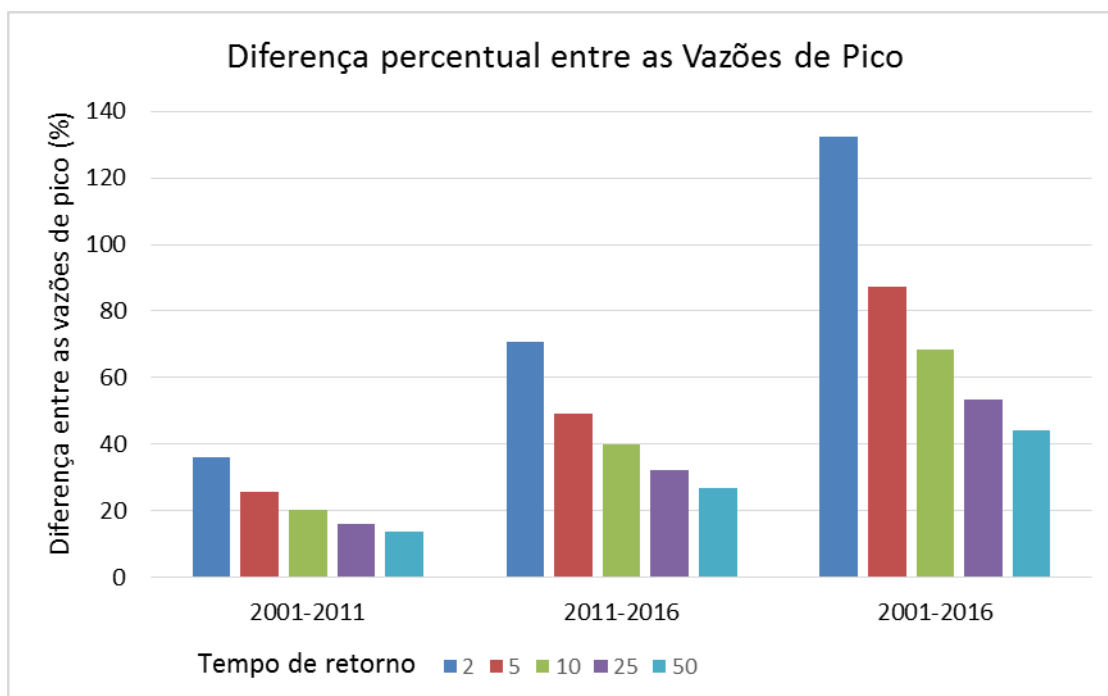


Figura 33 – Diferença entre as vazões de pico.

A Figura 33 mostra a diferença entre as vazões de pico geradas nos três cenários estudados para os diferentes tempos de retorno utilizados, observa-se que para todos os intervalos de tempo analisados a diferença entre as vazões são significativas, chegando a mais de 60% de 2001 a 2016 para o tempo de retorno de 10 anos, esses valores são superiores aos encontrados por BARROS (2013), em sua análise do efeito da mudança do uso do solo no escoamento de uma bacia urbana na cidade de Maceió-AL, para os cenários de 2002 a 2010, onde o percentual máximo de aumento foi de 48% para o tempo de retorno de 10 anos.

Diante disso, os resultados indicam como a impermeabilização do solo, decorrente do efeito causado pela construção de empreendimentos, é um fator agravante do acréscimo na vazão de pico de uma bacia.

7. CONCLUSÃO

Apesar das dificuldades e limitações para a obtenção e classificação das imagens que permitiram a execução da pesquisa, os resultados do trabalho se mostraram consistentes. Vale ressaltar que um estudo como esse não é apenas importante para se ter uma ideia das condições de escoamento da bacia, mas também para se fazer uma análise do uso e ocupação do solo, cálculo de parâmetros físicos da bacia, além de uma análise dos efeitos da urbanização sobre a drenagem.

Através da análise temporal dos diferentes cenários de uso e cobertura do solo da bacia do Riacho Piauí, evidenciou-se um aumento nas superfícies impermeáveis. Por meio do mapeamento das situações nos diferentes cenários, foi possível verificar os panoramas existentes e entender a modificação no uso e cobertura do solo da bacia ocorrido entre eles.

Com os resultados obtidos foi possível se ter uma boa estimativa da capacidade e condições de escoamento da bacia do riacho Piauí, as vazões específicas e os volumes escoados são de grande valia quando se pretende fazer um controle do escoamento superficial gerado a fim de se evitar excessos na impermeabilização para se prevenir de futuras inundações.

Por ser uma bacia inserida na área urbana de Arapiraca, também marcada por regiões de grande urbanização, a bacia urbana do Riacho Piauí experimentou entre os quinze anos estudados um aumento considerável nas tipologias de uso e cobertura do solo associadas à construção do Arapiraca Garden Shopping, capazes de promover alta impermeabilização do solo. Estas ações foram ainda mais preocupantes tendo em vista que, na maioria dos casos, estabelecimentos como o Shopping ocupam regiões permeáveis da bacia, que apresentam maior capacidade de infiltração e, em alguns casos, com cobertura vegetal capaz de promover uma maior interceptação e retenção das águas da chuva.

Vale ressaltar que as ferramentas do sensoriamento remoto foram de grande valia para a obtenção dos resultados desta pesquisa, uma vez que, as imagens de satélite, o modelo digital do terreno, que permite a obtenção da rede de drenagem

da bacia, e o uso do Sistema de Informação Geográfica (SIG ou GIS - Geographic Information System), que se constituem nos programas ArcGis e QGis usados na pesquisa, que permitiram e facilitaram a análise e representação do espaço e dos fenômenos que nele ocorreram.

Estes resultados mostram-se uma ferramenta importante para estudos relacionados ao planejamento urbano no âmbito da gestão da drenagem urbana. Os resultados fornecem considerações que devem ser avaliadas em trabalhos que propõem organizar a ocupação do espaço urbano, como o código de urbanismo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENDA 21 ARAPIRACA.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.

BARROS, A. M. Efeito da mudança do uso do solo no escoamento de uma bacia urbana: Estudo de caso da bacia do Riacho do Sapo – Maceió/AL. Monografia de Graduação, Curso de Engenharia Civil, UFAL, Alagoas, 2013.

BATISTA, K. J. M.; SOUZA, E. G. F.; SILVA, T. A. P.; NEVES, M. G. F. P. COMPARAÇÃO ENTRE CURVAS IDF OBTIDAS A PARTIR DE PLUVIÓGRAFOS E DADOS DE SATÉLITE: ESTUDO DE CASO EM MACEIÓ - AL In: XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2016, 2016, Aracajú-SE.

BURROUGH, P.A. Principles of geographical information systems for land resouces assessment. Oxford, Clarendon Press, 1986.

Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A. M. V. Introdução à Ciência da Geoinformação. INPE: São José dos Campos, SP. 2001.

Cazenave, A.; Savenija, H. 2008. Preface to the special issue of hydrology from space. Survey Geophysics, v.29, p.241-245.

COELHO, M. C. N. Impactos ambientais em áreas urbanas: Teorias, Conceitos e Métodos de Pesquisa. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Org). Impactos Ambientais Urbanos no Brasil. Rio de Janeiro: Editora Bertrand, 2011. 418 p.

DEÁK, C.; SCHIFFER, S. R. O processo de Urbanização no Brasil. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

EFEITOS DO CRESCIMENTO URBANO NA QUALIDADE DAS ÁGUAS DO RIACHO PIAUÍ, ARAPIRACA-AL Patrícia da Conceição Dornellas da Silva XAVIER¹ Hernani Loebler CAMPOS². Publicado em: Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, no 3, set/dez. 2007.

Eid, J.N.; Campana, N.A. Avaliação do estágio da integração geoprocessamento-recursos hídricos. XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Belo Horizonte, MG. Novembro. 1999. 6p.

ELEMENTOS DE HIDROLOGIA APLICADA. Escoamento Superficial Prof. Antenor Rodrigues Barbosa Júnior.

GOMEZ, Francisco. et. al. Green Areas, the Most Significant Indicator of the Sustainability of Cities: Research on Their Utility for Urban Planning. In: Journal of Urban Planning and Development. Vol. 137, 2010. GORSKI, M. C. B. Rios e cidades: Ruptura e Conciliação. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2010.

GONÇALVES, L. S. Relações intensidade-duração-frequência com base em estimativas de precipitação por satélite. Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, junho de 2011. Dissertação de Mestrado.

<http://gazetaweb.globo.com/gazetadealagoas/noticia.php?c=230800>, acessado em: 21/03/2017 às 16:06.

<http://web.arapiraca.al.gov.br/2016/03/arapiraca-sedia-criacao-de-comite-da-bacia-hidrografica-do-rio-piaui/>, acessado em 21/03/2017 às 16:00.

<http://www.cadaminuto.com.br/noticia/219022/2013/07/03/inauguracao-do-patio-arapiraca-garden-shopping-entra-na-reta-final>, acessado em 21/03/2017 15:54

Lakshmi, V. 2005. Remote sensing and hydrology. In: Aswathanarayana, U. (Org.). Advances in water science methodologies. Londres: Taylor & Francis, ed.1, p.3-24.

Liang, S. 2004. Quantitative remote sensing of land surface. 1.ed. Nova Jersey: Jown Wiley & Sons, 534p.

MARSH, W. Landscape planning: environmental applications. New York: John Wiley & Sons, 1983.

MENEZES, C. L. Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente: A experiência de Curitiba. Campinas, São Paulo: Papirus, 1996.

MOURA, A. C. M. Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano. Belo Horizonte: Ed. Da Autora, 2003.

MOURA, R. Políticas Públicas Urbanas: Ausências e Impactos. In: MENDONÇA, Francisco A. (Org.). Impactos socioambientais urbanos. Curitiba: Editora UFPR, 2004.

PASSOW M. J. 2010. TRMM - Tropical rainfall measuring mission: Bringing remote sensing of precipitation into your classroom. TRMM: Trazendo o sensoriamento remoto de precipitação para sua sala de aula. Terra e Didática, disponível em: <http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/>

PEREIRA, T.; NETO, A. R.; MONTENEGRO, S. M. G. Estimativa do escoamento superficial a partir diferentes classificações hidrológicas do solo : aplicação na bacia do riacho Gameleira– PE.SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS,20 , 2013, Bento Gonçalves. Anais... Porto Alegre, RS: ABRH, 2013.

RBGF- Revista Brasileira de Geografia Física Recife-PE, Vol.2, n.03, set-dez, 2009, 01-19.

ROSA, R. Introdução ao sensoriamento remoto. Uberlândia: Editora UFU, 2007. 248 p

SARTORI, A. Avaliação da Classificação Hidrológica do Solo para a Determinação do Excesso de Chuva do Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Revista Brasileira de Recursos Hídricos. 2004. 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas, 2004.

SARTORI, A.; GENOVEZ, A. M. Critérios Para Classificação Hidrológica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 19, 2009, Bento Gonçalves. Anais... Porto Alegre, RS: ABRH, 2009.

SILVA, G. J. A. Projeto de Intervenção Urbana: Uma Ruptura de Paradigmas. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2010.

SILVEIRA, André Luis Lopes da. Desempenho de fórmulas de Tempo de Concentração em bacias urbanas e rurais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 5-23, Porto Alegre, mar. 2005.

Schultz, G. A.; Engman, E. T. 2000. Remote sensing in hydrology and water management. 1.ed. Nova Iorque: Springer, 483p.

SMDU. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; fundamentos**. São Paulo: CTP, 2012.

SOUZA, E. G. F.; BATISTA; K. J. M.; SILVA, T. A. P. COMPARAÇÃO ENTRE CURVAS IDF OBTIDAS A PARTIR DE PLUVIÓGRAFOS E DADOS DE SATÉLITE: ESTUDO DE CASO EM ARAPIRACA-AL. In: IV SEMANA DE ENGENHARIA, 2017, DELMIRO GOUVEIA. IV SEMANA DE ENGENHARIA, DESAFIOS DA ENGENHARIA, 2017.

TUCCI, C. E. M. Gestão de Águas Pluviais Urbanas. Brasília: Ministério das Cidades. 2005b.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2012.

TUCCI, C.E.M; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças de cobertura vegetal no escoamento: Revisão. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, ABRH:1997

TUCCI, C. E. M. (1998). Modelos hidrológicos, Ed. Universidade /UFRGS/Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, 668p.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: UFRGS Editora, 2005a.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BASTOS, M. T. Drenagem Urbana. ABRH. 2015.

ZAMPRONIO, G. B. Integração de Técnicas para Apoio à Gestão de Sistemas de Drenagem Urbana Aplicada a uma Bacia Hidrográfica no Município do Rio de Janeiro. 2009. 145 p. Dissertação (mestrado em engenharia civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.