



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS CAMPINA GRANDE - PB

IMPACTOS DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO URBANO: UMA ANÁLISE NO
BAIRRO PALMEIRA IMPERIAL EM CAMPINA GRANDE - PB

Marcela Antunes Meira

**Orientadoras: Iana Alexandra Alves Rufino
Karla Azevedo dos Santos**

CAMPINA GRANDE – PB

2018

MARCELA ANTUNES MEIRA

IMPACTOS DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO URBANO: UMA ANÁLISE NO
BAIRRO PALMEIRA IMPERIAL EM CAMPINA GRANDE - PB

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Coordenação do Curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal de
Campina Grande como requisito para a
obtenção do título de Bacharel em Engenharia
Civil.

**Orientadoras: Iana Alexandra Alves Rufino
Karla Azevedo dos Santos**

CAMPINA GRANDE – PB

2018

FOLHA DE APROVAÇÃO

MARCELA ANTUNES MEIRA

IMPACTOS DA IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO URBANO: UMA ANÁLISE NO
BAIRRO PALMEIRA IMPERIAL EM CAMPINA GRANDE - PB

Iana Alexandra Alves Rufino – Orientadora

Karla Azevedo dos Santos – Orientadora

Ricardo de Aragão – Examinador interno

Maria José de Sousa Cordão – Examinadora externa

CAMPINA GRANDE – PB

2018

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, à minha maior inspiração, exemplo de força, perseverança e ciência, minha mãezinha *Vera*, por segurar na minha mão tantas vezes e me ajudar em todos os âmbitos da minha vida tornando este trabalho, entre tantos outros, possível; e ao meu pai, *Abdon*, que me criou até eu chegar aqui e tanto me incentivou a sempre ser o melhor de mim mesma.

Aos meus irmãos e sobrinhos que, mesmo sem saber, me incentivaram a continuar estudando, ao mesmo tempo em que sempre estavam lá para os momentos que eu precisava de uma pausa dos projetos.

A *Sonaly* e *Guilherme*, queridos que a universidade me trouxe, que me acompanharam desde sempre, estando comigo em tantos momentos da minha vida, sem medir esforços para me ajudar, sendo meus grandes pilares emocionais e acadêmicos.

Aos meus amigos *Bruno*, *Yanna* e *Fernanda* que sempre ouviam o que eu tinha a dizer muitas vezes sem nem entender nada do mundo da engenharia, mas sempre me apoiando e sempre me ajudando demais. Muito obrigada.

Ao *Grupo do Bingo*, minha graduação não seria a mesma sem vocês, muito obrigada por toda a ajuda, todas as risadas, todas as madrugadas e pizzas compartilhadas e todas as *road trips* nas visitas de campo.

Agradeço aos meus colegas do Laboratório de Hidráulica II, que viraram amigos. *Tayron* e *Bárbara* que tanto me orientaram quando eu era apenas um girino, *Tereza* que me acompanhou nas loucuras, *Karla*, minha coorientadora, tão solícita, tão paciente e tão companheira.

Aos meus colegas e amigos que no TCC tanto me ajudaram me lembrando dos prazos e tirando minhas dúvidas, *Higor* e *Arthur*.

Aos meus professores e eternos mentores *Carlos Galvão* e *Janiro* que, no período que me orientaram, me ensinaram tantas lições, que levarei para a vida.

À minha orientadora *Iana* que, através do lindo mundo do geoprocessamento, esteve comigo na monitoria e no TCC.

A *Ricardo*, por aceitar fazer parte da minha banca, me orientando em tantas coisas e sempre me ajudando a crescer no meio acadêmico.

E a todos que me acompanharam e me ajudaram até aqui, meu muitíssimo obrigada!

RESUMO

O crescimento da população impulsiona o processo de expansão urbana que, sobretudo nas cidades de médio e grande porte, tem acontecido de forma desenfreada e dissociada de seu planejamento, resultando em formas de uso e ocupação desordenadas do solo. Este modelo de apropriação causa danos ao meio ambiente e ao ciclo hidrológico da bacia hidrográfica na qual está inserido. É fundamental, portanto, atentar para tais perturbações decorrentes da urbanização, especialmente aquela não planejada. Neste sentido, o presente trabalho analisou as formas de ocupação do solo urbano, e avaliou os impactos gerados pelo processo de urbanização do bairro Palmeira Imperial, na cidade de Campina Grande - PB, a partir da investigação do acelerado crescimento da construção civil observado, sobretudo, a partir do ano de 2009 na cidade. Para tal, fez-se o uso de geotecnologias como o *software* QGIS, para análise espaço-temporal do grau de impermeabilização do solo, e um modelo hidrológico para diferentes cenários de urbanização por meio do *software* SWMM. A análise temporal da ocupação da área de estudo mostrou grandes crescimentos e expansão do bairro especialmente no período entre 2009 e 2012, o que pode ser atribuído ao Programa Minha Casa Minha Vida, e, através das simulações hidrológicas pôde-se verificar os impactos no escoamento das águas pluviais causados pela impermeabilização devido a essa ocupação. A construção de hidrogramas de saída mostrou aumentos da ordem de 60% na vazão, desta forma se mostra necessária a implantação de uma infraestrutura de drenagem para mitigar este aumento e trazer qualidade de vida para os moradores.

Palavras-chave: *Urbanização, Planejamento urbano, Simulações hidrológicas, Geotecnologias*

ABSTRACT

Population growth drives the process of urban expansion, which, especially in medium and large cities, has been rampant and dissociated from its planning, resulting in disordered use and occupation of the soil. This kind of appropriation causes damage to the environment and to the hydrological cycle of the river basin into which it is inserted. It is necessary, therefore, to address such disruptions arising from urbanization, especially the unplanned ones. In this sense, the present work analyzed the forms of occupation of the urban land, and evaluated the impacts generated by the urbanization process of the Palmeira Imperial neighborhood, in the city of Campina Grande - PB, based on the investigation of the accelerated growth of the civil construction observed, especially, from the year 2009 onwards in the city. For this purpose, geospatial technologies such as QGIS software were used for space-time analysis of the degree of soil impermeabilization, and a hydrological model for different urbanization scenarios using SWMM software. The temporal analysis case study's occupation showed large growth and expansion of the neighborhood especially in the interval in 2009 and 2012, which can be attributed to the program *Minha Casa Minha Vida* (MCMV), and through the hydrological simulations it was possible to verify the impacts on the flow of rainwater caused waterproofing due to this occupation. The construction of output hydrograms showed increases of the order of 60% in the flow, showing that it is necessary to implement a drainage infrastructure to mitigate this increase and bring quality of life to the residents.

Palavras-chave: *Urbanização, Planejamento urbano, Simulações hidrológicas, Geotecnologias*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Hidrograma para uma área urbanizada e uma área não-urbanizada. Fonte: Tucci (2000).....	18
Figura 2: Localização da área de estudo. Fonte: elaboração do autor	25
Figura 3: Localização da área de estudo e das ZEIS. Fonte: adaptado do PDM - CG (2006) .	26
Figura 4: Localização da área de estudo e do zoneamento. Fonte: adaptado do PDM - CG (2006)	27
Figura 5: Localização dos elementos de drenagem na cidade de Campina Grande. Fonte: Adaptado de SEPLAN e elaboração do autor.	28
Figura 6: Boca de Lobo obstruída por resíduos sólidos.....	28
Figura 7: Boca de Lobo obstruída pelo pavimento	28
Figura 8: Codificação da abordagem D8. Fonte: ArcGIS (2018).....	32
Figura 9: Representação do cenário I no SWMM	36
Figura 10: Representação do cenário IV no SWMM.....	37
Figura 11: Ocupação cenário I.....	38
Figura 12: Ocupação cenário II	38
Figura 13: Ocupação cenário III	38
Figura 14: Ocupação cenário IV	38
Figura 15: Gráfico comparativo dos percentuais de impermeabilização por cenário	39
Figura 16: Mapa de Fluxo. Fonte: elaboração do autor.	40
Figura 17: Localização do exutório. Fonte: elaboração do autor	41
Figura 18: Hidrograma TR 10 anos	42
Figura 19: Hidrograma TR 5 anos	42
Figura 20: Hidrograma TR 2 anos	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CHESF	Companhia Hidroelétrica do São Francisco
IDF	Intensidade, Duração e Frequência
MCMV	Minha Casa Minha Vida
MDE	Modelo Digital de Elevação
PDM	Plano Diretor Municipal
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SWMM	Storm Water Management Model
TR	Tempo de Retorno
ZEIS	Zonas Especiais de Interesse Social

LISTA DE EQUAÇÕES

Intensidade da chuva de projeto (1).....	24
Largura equivalente (2).....	32
Coefficiente de compacidade (3).....	32
Percentual de Impermeabilização (4).....	33
Percentual de Impermeabilização das vias (5).....	33
Tempo de Concentração (6)	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Dados de entrada para sub-bacias.....	23
Tabela 2: Valores dos coeficientes de Manning. Fonte: Rossman (2012)	23
Tabela 3: Valores típicos de armazenamento em depressões. Fonte: ASCE, (1992). Design & Construction of Urban Stormwater Management Systems, New York, NY.....	24
Tabela 4: Valores de DI, DP e AINC para Campina Grande. Fonte: Nóbrega (2012).....	33
Tabela 5: Parâmetros para Campina Grande da curva IDF. Fonte: Adaptado de Aragão <i>et al.</i> (2000).....	33
Tabela 6: Tempo de retorno para sistemas urbanos. Fonte: Adaptado de Tucci & Bertoni (2003)	34
Tabela 7: Precipitação acumulada para TR de 2, 5 e 10 anos. Fonte: elaboração do autor.	35
Tabela 8: Valores utilizados para a equação de <i>Horton</i> . Fonte: Paixão et al. (2009).....	35
Tabela 9: Taxas de ocupação máxima segundo o Código de Obras de Campina Grande. Fonte: Adaptado de PMCG (2013).....	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. OBJETIVO GERAL.....	15
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1. URBANIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA NAS CIDADES	16
2.1.1. Impactos Sociais	17
2.1.2. Impactos Ambientais	17
2.2. PLANEJAMENTO URBANO	19
2.2.1. Leis de uso e ocupação do solo	19
2.3. GEOPROCESSAMENTO.....	21
2.3.1. Sistema de Informação Geográfica.....	21
2.4. SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS	22
2.4.1. Dados de entrada para as simulações.....	22
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	25
3.1. LOCALIZAÇÃO	25
3.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO ZONEAMENTO	25
3.3. INFRA-ESTRUTURA	27
4. METODOLOGIA	29
4.1. DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO	29
29	
4.2. COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS.....	29
4.2.1. Cenários de ocupação	30
4.2.2. Caracterização do solo quanto à impermeabilização.....	30
4.3. SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS PARA OS CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO	31
4.3.1. Determinação dos dados de entrada para o SWMM	31
4.3.2. Cenário I - pré-urbanização.....	36

4.3.3. Cenário IV – atual.....	36
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
5.1. OCUPAÇÃO DO SOLO	38
5.2. IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	39
5.3. SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS	40
5.3.1. Definição da direção do fluxo da área de estudo.....	40
5.3.2. Resultado das simulações hidrológicas.....	42
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	44
7. REFERÊNCIAS.....	45

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população impulsiona o processo de expansão urbana que, sobretudo nas cidades de médio e grande porte, tem acontecido de forma desenfreada e dissociada de seu planejamento, resultando em formas de uso e ocupação desordenadas do solo.

A procura de terrenos como um investimento, juntamente à escassez e à demanda habitacional, os torna altamente desejados, isso gera uma especulação imobiliária nos centros urbanos, que eleva os valores dos imóveis, levando à ocupação de áreas periféricas da cidade, por se tratarem de terrenos de menor custo para as construtoras/ poder público.

Para compensar o valor investido, as construtoras desmembram grandes glebas em pequenos lotes a fim de suprir o déficit habitacional, através da construção de casas geminadas, onde há a proximidade das residências com pouca ou nenhuma área permeável em seu terreno.

Atrelado a isso, há ainda o aumento de áreas impermeabilizadas devido a pavimentação das vias, construção de calçadas, e ainda a diminuição de espaços livres, modificando a paisagem resultando em áreas cada vez menores para o solo e vegetação naturais, criando, assim, uma barreira que dificulta a infiltração das águas pluviais no solo.

Dessa forma, o modelo atual de urbanização provoca uma perturbação ao meio, causando desequilíbrio ao balanço hídrico pré-existente. A impermeabilização decorrente desse modelo faz com que os picos de cheia após a ocupação ocorram mais cedo e com mais severidade do que quando as características do solo favoreciam a infiltração, em razão da parcela de água que antes escoava lentamente pela superfície e ficava retido pelas plantas, infiltrando no solo, e após a impermeabilização passa a escoar pelos sistemas de drenagem urbana, aumentando o escoamento superficial.

Além dos impactos aos sistemas de drenagem, a retirada quase total da vegetação acarreta prejuízos na qualidade de vida dos moradores da região, visto que a arborização possui extrema importância nos centros urbanos, sendo responsável por inúmeros benefícios climáticos, ambientais e sociais que auxiliam na qualidade de vida nas cidades e também na saúde física e mental da população.

Para mitigar esses efeitos da urbanização, as cidades contam com alguns instrumentos para reger e controlar o uso e ocupação do solo. São estas leis, planos e estratégias que têm a

finalidade de nortear uma ocupação de espaço urbano de forma racional e com equilíbrio ambiental.

As leis que subsidiam as decisões para um bom planejamento urbano são as Leis de Uso e Ocupação do Solo, como a Lei Orgânica do Município, os códigos de Obra e do Meio Ambiente, e o Plano Diretor Municipal, sendo estes instrumentos que disciplinam e definem a distribuição espacial das atividades socioeconômicas. A desatenção a esses instrumentos gera impactos ambientais e sociais que expõem a população a situações de riscos e vulnerabilidades.

A construção de conjuntos habitacionais, especialmente para famílias de baixa renda, é feita muitas vezes desrespeitando as diretrizes do planejamento urbano, além de que, reiteradamente, esses modelos de habitação têm sido construídos em áreas afastadas e sem infraestrutura, por conta, sobretudo, da forte especulação imobiliária nos centros urbanos. A partir de 2009, a possibilidade da aquisição da casa própria, particularmente com a criação do programa Minha Casa Minha Vida, fez com que as construtoras procurassem novos terrenos para o atendimento da demanda habitacional. Na cidade de Campina Grande essa expansão urbana fica clara em bairros como o Palmeira Imperial, que em 2006 apresentava poucas residências, mas que foi intensamente povoado a partir do ano de 2009. As casas construídas no bairro são extremamente próximas umas das outras, e a ocupação criou uma demanda por pavimentação e conseqüentemente retirada da vegetação natural, de forma que a configuração atual do bairro, especialmente no tocante ao percentual de impermeabilização, foi intensamente modificada.

Para compreender as dimensões e impactos da ocupação desarticulada do planejamento urbano, podem ser utilizadas geotecnologias como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) que, segundo Souza (2009) podem ser aplicados como ferramenta de apoio à tomada de decisões espaciais em diversas etapas do processo de planejamento urbano.

Outra ferramenta igualmente importante na compreensão dos fenômenos decorrentes da urbanização e conseqüente impermeabilização do solo é a modelagem hidrológica que, através da construção de diferentes cenários com variação temporal e espacial, pode ser utilizada no planejamento, e tomada de decisão em projetos relacionados ao comportamento do escoamento de águas pluviais.

1.1. OBJETIVO GERAL

Analisar o crescimento e adensamento urbano acelerado no bairro Palmeira Imperial, na cidade de Campina Grande - PB, a partir do ano de 2005, bem como avaliar os impactos gerados pelo processo de urbanização na área a datar deste período.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a ocupação do solo do bairro Palmeira Imperial entre os anos 2005 a 2018;
- Caracterizar e avaliar a área de estudo em relação ao seu percentual de impermeabilização do solo;
- Quantificar o aumento da vazão máxima de escoamento para diferentes tempos de retorno e cenários de ocupação;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. URBANIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA NAS CIDADES

Desde a segunda metade do século XX, o crescimento dos núcleos urbanos tornou-se um fenômeno mundial e, desde então, a urbanização desordenada e ineficiente passou a ser um causador significativo de impactos ambientais. O processo de urbanização afeta o ambiente e a população, com alterações na paisagem local e possíveis contaminações geradas por seus habitantes (ALVES, 2017).

Em países em desenvolvimento, como o Brasil, é geralmente observado o crescimento urbano desordenado, sem o adequado controle sobre o uso do solo e sem vinculação com um Plano Diretor Municipal (MIGUEZ, 2007). Miranda (2013) aponta que, aliadas ao crescimento dos núcleos urbanos, a baixa renda das famílias, a especulação imobiliária e a inadequação das políticas de habitação fizeram com que parte da população urbana passasse a viver em assentamentos precários e informais. Foi estimada uma demanda habitacional, em 2009, na ordem de 5,089 milhões de moradias nas áreas urbanas do país, para o ano da pesquisa, e, para tentar suprir esse déficit, foi criado o programa Minha Casa Minha Vida, possibilitando o acesso à moradia própria à parcela da população que não tem condições de obter financiamento para aquisição da casa própria (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO, 2012). A criação do programa trouxe incentivo financeiro para empresas de construção civil, decorrentes da elevação das obras financiadas por meio do governo federal, despertando assim, o interesse das construtoras nas edificações populares.

A criação dos conjuntos habitacionais certamente diminuiu o fator de risco das ocupações independentes, porém, devido à necessidade de retorno às construtoras, os terrenos escolhidos para esses conjuntos eram especialmente em áreas afastadas do centro e em bairros com pouca ou nenhuma infraestrutura. Por outro lado, Kauffman (2005) comenta que a legislação urbanística, desde o início, apresentou formulações que desconsideravam a maioria da população, privilegiando as áreas centrais e nobres das cidades, ainda sem apresentar alternativas eficazes ao surgimento de áreas fora do controle normativo e desprovidas dos serviços de infraestrutura necessários, contribuindo assim também para a degradação ambiental da paisagem urbana e comprometimento da qualidade de vida.

A urbanização realizada em desarmonia com o planejamento, acarreta em uma série de impactos – ambientais, sociais, econômicos e culturais – que interferem diretamente no cotidiano da população.

2.1.1. Impactos Sociais

Segundo Santos (2015), a apropriação desordenada e desenfreada do solo urbano, além de causar danos ao meio ambiente através da ocupação de áreas de preservação pela população mais desfavorecida financeiramente, é um dos impactos que traz danos mais visíveis à população, uma vez que a ocupação sem planejamento condiciona a ocupação de áreas sem infraestrutura adequada, gerando desigualdade no acesso aos bens e serviços de qualidade para o bem-estar humano e seu desenvolvimento socioeconômico (GRANDE *et al.* 2014).

Miguez *et al.* (2007) enfatizam que os aspectos mais agravantes do processo de urbanização são o crescimento em um curto período de tempo sem adequação das infraestruturas, as políticas públicas que não fiscalizam as ocupações de áreas de risco formando as favelas e baixa qualificação dos gestores públicos. A concentração populacional ou de atividades em locais inseguros não é a causa da vulnerabilidade, mas sim a distribuição desigual de renda, a marginalização de alguns segmentos da população e sua exclusão de áreas planejadas (SAITO, 2011).

Nas áreas urbanas, a arborização pode ser empregada como benefício social para comunidade, sendo utilizadas espécies arbóreas com o propósito de melhoria do microclima local estimulando a visitação às praças e mesmo a prática de atividades físicas nos locais públicos (LOCASTRO *et al.* 2017). Além de ser muito relevante do ponto de vista estético, uma vez que, essa contribui para a organização e encantamento urbano (NERI *et al.* 2017).

2.1.2. Impactos Ambientais

Salles (2013) coloca o planejamento ambiental como o processo técnico voltados para áreas urbanas, visando criar condições de atender aos propósitos de um desenvolvimento que considere as funções socioambientais e dê garantia de bem-estar para a população que habita e/ou visita os centros urbanos.

Impacto Ambiental, é, para Wathern (1988), a mudança em um parâmetro ambiental, num determinado período e numa determinada área, que resulta de uma dada atividade, comparada com a situação que ocorreria se essa atividade não tivesse sido iniciada. É um

conceito importante para pesquisas que relacionam os impactos sofridos às ações antrópicas motivadas pela urbanização, como modificações do solo.

A ocupação e o uso dos espaços urbanos, desde o início do seu desenvolvimento, vêm se caracterizando pela ausência de preocupação com os impactos ao meio ambiente, como variação no uso do solo, as características do relevo, a dinâmica da desocupação, o modo de vida predominante, os diferentes materiais utilizados nas construções, intenso processo de pavimentação (impermeabilização) e excessiva temperatura, que interferem nos microclimas das cidades (MINAKI & AMORIM, 2012). Além de serem responsáveis por diversos desastres relacionados a enchentes, deslizamento de terra, ilhas de calor, entre outros.

O aumento de áreas impermeáveis eleva o escoamento superficial significativamente e, segundo Tucci (2000), a impermeabilização de 7% da área dos lotes de um empreendimento habitacional já acarreta a duplicação do escoamento superficial. Casos mais extremos, como a impermeabilização de 80% do lote, geram um volume de escoamento superficial oito vezes maior.

Numa bacia hidrográfica não urbanizada, o escoamento devido à precipitação é retido pela vegetação, infiltra-se no subsolo e, o que resta, escoam sobre a superfície de forma gradual, produzindo um hidrograma com variação lenta de vazão e com picos de enchentes moderados, já em uma área urbanizada, com alta taxa de impermeabilização do solo, há o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial, como apresentado no hidrograma da Figura 1.

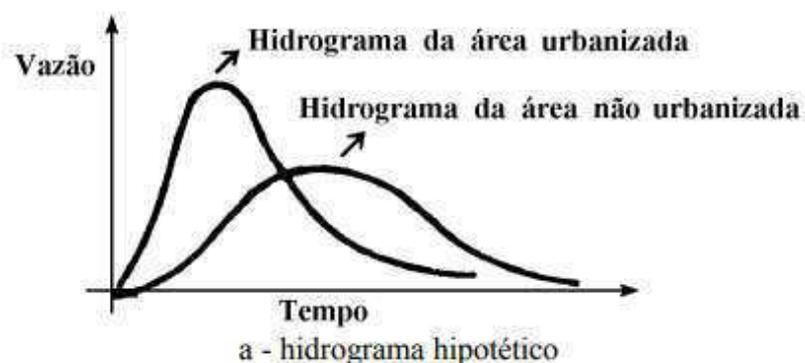


Figura 1: Hidrograma para uma área urbanizada e uma área não-urbanizada. Fonte: Tucci (2000)

Além da impermeabilização, há ainda a retirada da vegetação natural, especialmente para pavimentação e construção de residências. Essa retirada é prejudicial para os habitantes no que diz respeito à própria qualidade de vida. Para Elmqvist *et al.* (2015), as áreas verdes trazem uma série de soluções para as áreas urbanas, como: (i) regulação do microclima; (ii) regulação da água; (iii) redução da poluição e melhoria da saúde populacional e; (iv) melhorias no habitat e nos serviços culturais.

2.2. PLANEJAMENTO URBANO

Silva (2005) descreveu o planejamento como sendo a preparação para a gestão, buscando-se por meio de prognósticos e planos evitar ou minimizar problemas, ampliando margens de manobras, visto o caráter imprevisível e indeterminado que sempre existe quando se fala em planejamento urbano.

Os principais elementos formadores da gestão de uma cidade se relacionam aos indicadores de desenvolvimento urbano que são: a população – relacionada à taxa de crescimento, migração e densificação urbana; a economia – ligada à renda, produto bruto e perfil de produção e; o uso do solo – com a distribuição por tipo de uso do espaço urbano em residencial, comercial, industrial e áreas públicas (GAUDARD, 2016).

Baptista *et al.* (2005) aponta que, ao controlar o uso do solo e a densidade de ocupação é então possível (i) proteger áreas ambientais sensíveis, como áreas úmidas; (ii) restringir o desenvolvimento em áreas de risco; (iii) restringir a ocupação de áreas de interesse para a gestão de águas pluviais.

2.2.1. Leis de uso e ocupação do solo

Rosa (2007) define, de forma sintética, a expressão “uso da terra ou uso do solo”, como a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem. Os instrumentos que disciplinam e definem a distribuição espacial das atividades socioeconômicas são chamadas de Leis de Uso e Ocupação do Solo. A primeira fase do processo de regularização de uma ocupação já estabelecida ou a determinação de diretrizes para um novo assentamento deve ocorrer através de um zoneamento, instrumento de gestão que trata de um conjunto de regulamentações, prescrevendo os tipos de uso adequados a cada porção do território (MOTA, 2003).

Dentre os principais instrumentos de gestão do uso e ocupação do solo estão a Lei Orgânica do Município, o Código de Obras, a Lei de Parcelamento de Uso do Solo e o Plano Diretor Municipal, podendo variar de um município para outro.

- A Lei Orgânica do Município é, hierarquicamente, a legislação mais importante do município, sendo considerada a Constituição Municipal. É uma lei em sentido formal e material na qual não tem participação o poder Executivo municipal. São fundamentos desta lei i) contribuir para a construção de uma sociedade livre, justa e solidária; ii) garantir o desenvolvimento local e auxiliar no desenvolvimento regional e nacional; iii) erradicar a pobreza e a marginalização e reduzir as desigualdades sociais e regionais; iv) promover o bem de todos, sem preconceitos de origem, raça, sexo, cor, credo, idade e quaisquer outras formas de discriminação ou segregação.
- O Código de Obras estabelece índices urbanísticos como taxa de ocupação e índice de aproveitamento por zona, assim como limites mínimos de recuos e afastamentos.
- A Lei de Parcelamento do Uso do Solo, é a lei que dá as diretrizes para o processo administrativo de divisão e de redivisão de gleba, compreendendo o parcelamento, o loteamento e o desmembramento, garantindo as áreas destinadas a sistema de circulação, implantação de equipamentos urbano e comunitário, bem como espaços livres de usos públicos proporcionais à densidade de ocupação (COSTA, 2006).
- O Plano Diretor Municipal é o instrumento básico que orienta a atuação da administração pública e da iniciativa privada, de forma a assegurar o pleno desenvolvimento das funções sociais da cidade e da propriedade, a melhoria da qualidade de vida e o bem-estar da população, segundo os princípios da democracia participativa e da justiça social (CAMPINA GRANDE, 2006).
 - Em relação à definição do zoneamento no PDM, a fim de que seja assegurada a função social da cidade e da propriedade, são demarcadas áreas com características especiais, que possuem destinação específica e/ou que exigem tratamento, denominadas Zonas Especiais de Interesse Social – ZEIS. Tais zonas definem áreas onde é prioritária a regularização fundiária, urbanização e produção ou a manutenção de habitação de interesse social (AMORE, 2013).

2.3. GEOPROCESSAMENTO

O geoprocessamento é um conjunto de técnicas, ferramentas e procedimentos que permitem processar dados geograficamente referenciados por meio de diversas tecnologias, representadas em especial pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG), Sensoriamento Remoto e Sistema de Posicionamento Global (GPS), que apresentam uma série de facilidades na geração e produção de dados e informações para o estudo de fenômenos geográficos, hidrológicos, entre outros. (MARCELINO, 2007).

Para a visualização do ambiente terrestre, servindo como auxílio ao geoprocessamento e geração de dados geográficos há softwares livres e gratuitos, como o caso do Google Earth, que é um programa de computador desenvolvido e distribuído pela empresa Google, tendo como função apresentar um modelo tridimensional do globo terrestre a partir de imagens de satélites de diversas fontes.

O Google Earth, através de serviços de localização, visualização e identificação através de imagens aéreas e de satélite, possibilita ainda a criação e edição de polígonos georreferenciados. Estes dados vetoriais podem então ser exportados para um software de SIG.

2.3.1. Sistema de Informação Geográfica

Silva (2007) afirma que os SIGs são ferramentas computacionais utilizadas para processar dados espaciais georreferenciados, compondo um conjunto de funções que assegura aos profissionais o armazenamento, a recuperação, a manipulação e a exibição de dados geograficamente localizados, com recursos avançados.

Os SIGs permitem a coleta, gestão, análise e representação automatizada de dados georreferenciados, desta forma, podem ser aplicados como importante ferramenta de apoio à tomada de decisões espaciais em diversas etapas do processo de planejamento urbano, uma vez que esses sistemas possibilitam um retrato mais fiel da complexidade deste meio através da integração de análises de diferentes variáveis, do ponto de vista geológico, arquitetônico, econômico, hidrológico, entre outros.

Desta forma, portanto, é possível a partir de um SIG, não apenas descrever e espacializar um determinado elemento ou fenômeno, como também realizar um prognóstico para a área de estudo, através de cenários e simulações baseados em tendências observadas pelo operador que está realizando a análise e através do processamento dos dados coletados.

2.4. SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS

A modelagem hidrológica é uma tecnologia desenvolvida para avaliação dos processos hidrológicos em diferentes escalas espaciais e temporais (SPRUILL *et al.*, 2000). Dessa forma, através da simulação de diferentes cenários e uso e ocupação do solo urbano utilizando modelos hidrológicos, é possível quantificar os impactos causados pela urbanização à bacia hidrográfica estudada.

Para que os resultados obtidos com as simulações sejam representativos é importante a escolha de um modelo e de um software que possibilitem a reprodução do maior número possível de características observadas na área de estudo. Um modelo usado na simulação da drenagem urbana é o Storm Water Management Model (SWMM) (ROSSMAN, 2010). Trata-se de um *software* americano, desenvolvido pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) e é utilizado no planejamento, análise e projetos relacionados a: i) escoamento de águas pluviais; ii) esgotos combinados; iii) esgotos sanitários e em outros sistemas de drenagem urbana ou não-urbana. É um modelo dinâmico de simulação chuva-vazão utilizado tanto para um evento único, quanto para eventos contínuos (SANTOS, 2015).

2.4.1. Dados de entrada para as simulações

2.4.1.1. *Subcatchments*

No SWMM as microbacias são divididas em *subcatchments*, ou sub-bacias, sendo estes para Rossman (2010), unidades hidrológicas que recebem precipitação associada a um pluviômetro, gerando um escoamento que flui para um nó do sistema de drenagem ou para outra sub-captção; o operador pode então dividir a área de estudo em um número adequado de sub-bacias e identificar o ponto de saída de cada uma delas. Os parâmetros utilizados para caracterizar estes elementos estão apresentados na Tabela 1.

PARÂMETROS UTILIZADOS NA CARACTERIZAÇÃO DAS SUB-BACIAS		
PARÂMETRO	SIGLA	UNIDADE
Área da sub-bacia	A	ha
Largura da Sub-bacia	W	m
Coefficiente de rugosidade de Manning - Superfícies Impermeáveis	NI	-
Coefficiente de rugosidade de Manning - Superfícies Permeáveis	NP	-
Capacidade de Armazenamento em depressões - Superfícies Impermeáveis	DI	mm
Capacidade de Armazenamento em depressões - Superfícies Permeáveis	DP	mm
Áreas impermeáveis não conectadas	AINC	%

Tabela 1: Dados de entrada para sub-bacias.

O coeficiente de Manning diz respeito à rugosidade ou fricção aplicada ao fluxo pela superfície pela qual este escoar, seus valores podem ser obtidos através de tabelas, tais como a Tabela 2 utilizada para este trabalho.

TIPO DE SUPERFÍCIE	COEFICIENTE
Asfalto liso	0,011
Concreto	0,012
Cerâmica	0,015
Superfície cimentada com pedregulhos	0,024
Solos com vegetação natural	0,04 - 0,08
Solo exposto	0,03

Tabela 2: Valores dos coeficientes de Manning. Fonte: Rossman (2012)

O armazenamento de depressões corresponde a um volume que deve ser preenchido antes da ocorrência do escoamento, representa abstrações iniciais, como empoçamento,

interceptação por telhados planos e vegetação, entre outros, sendo de valores diferentes para áreas permeáveis e impermeáveis. Seus valores típicos, definidos pela Sociedade Americana de Engenheiros Civis, para cada tipo de área estão apresentados na Tabela 3.

TIPO DE SUPERFÍCIE	ARMAZENAMENTO EM DEPRESSÕES
Superfícies Impenetráveis	1,27 - 2,54 mm
Gramados	2,54 - 5,08 mm
Pastagem	5,08 mm
Serrapilheira	7,62 mm

Tabela 3: Valores típicos de armazenamento em depressões. Fonte: ASCE, (1992). Design & Construction of Urban Stormwater Management Systems, New York, NY.

2.4.1.2. Precipitação e Infiltração

A entrada dos dados de precipitação no SWMM é feita na forma de série temporal de chuva para que o software possa, a partir do processamento desses dados, determinar vazão e volume de escoamento nas sub-bacias. Tais dados foram determinados a partir da equação geral da curva IDF, apresentada em (1).

$$i = \frac{a.Tr^m}{(t+b)^m} \quad (1)$$

Sendo:

i = intensidade (mm/h);

Tr = período de retorno (anos);

t = duração da chuva (min).

O software utilizado para a realização das simulações possui três métodos para a introdução de dados relativos à infiltração de água no solo, sendo estas: as Equações de Horton, o Método de Curva Número – SCS, e o método de Green-Ampt.

3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1. LOCALIZAÇÃO

O bairro Palmeira Imperial, apresentado na Figura 2, com ocupação predominantemente residencial, e área de 52,53 ha, encontra-se na Zona Sul da cidade de Campina Grande no estado da Paraíba, a aproximadamente 5km do centro, sendo limitada a oeste pelo bairro Acácio Figueiredo, ao sul pela área da CHESF, ao leste pelo Aeroporto Presidente João Suassuna e pelo norte pelo bairro do Cruzeiro, porém, por ter sido criado após a publicação do Plano Diretor Municipal formulado em 2006, não há informações sobre o bairro no citado documento.

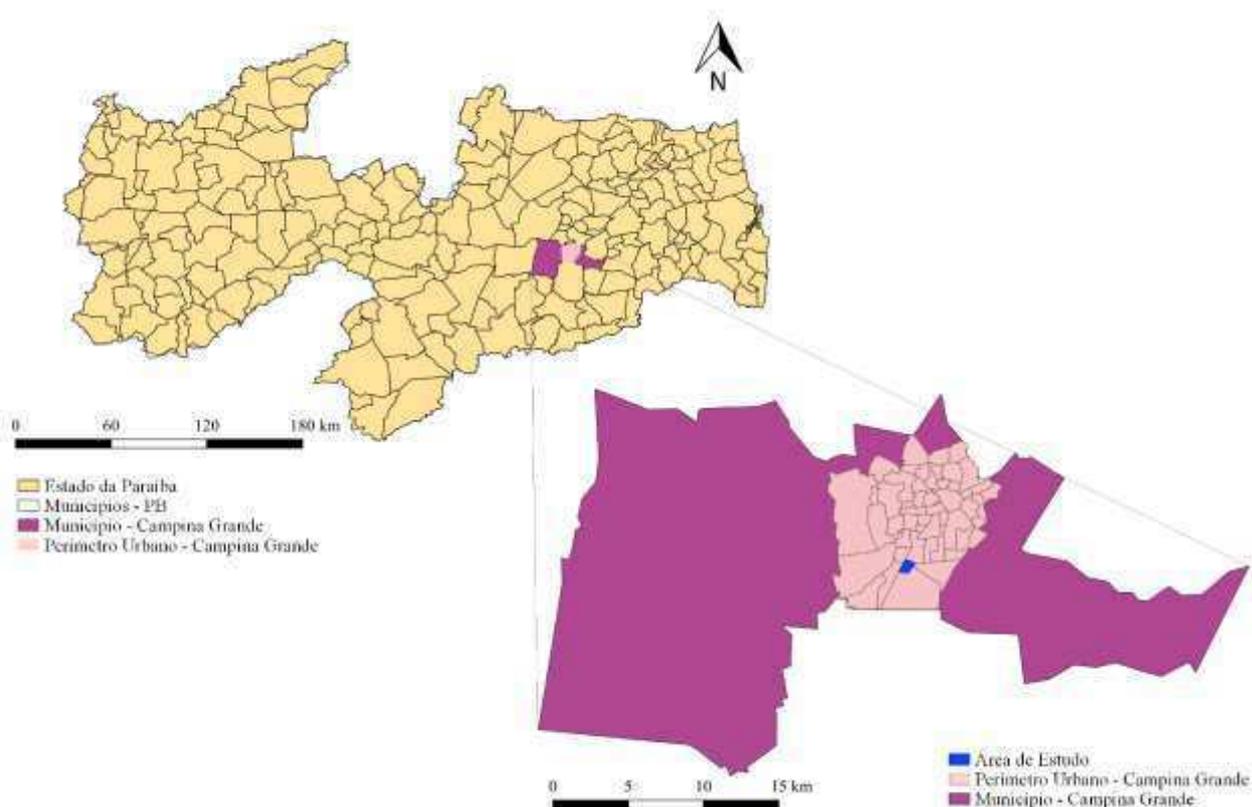


Figura 2: Localização da área de estudo. Fonte: elaboração do autor

3.2. CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO ZONEAMENTO

Segundo o plano diretor municipal de Campina Grande, de acordo com o mapa de seu perímetro urbano, apresentado na Figura 3, a área de estudo se encontra em uma Zona Especial de Interesse Social denominada de ZEIS 1, que compreende áreas públicas ou particulares ocupadas por assentamentos precários de população de baixa renda na Macrozona Urbana.

Nestas zonas o Poder Público pode promover a regularização fundiária e urbanística, com implantação de equipamentos públicos, inclusive de recreação e lazer, comércio e serviços de caráter local.

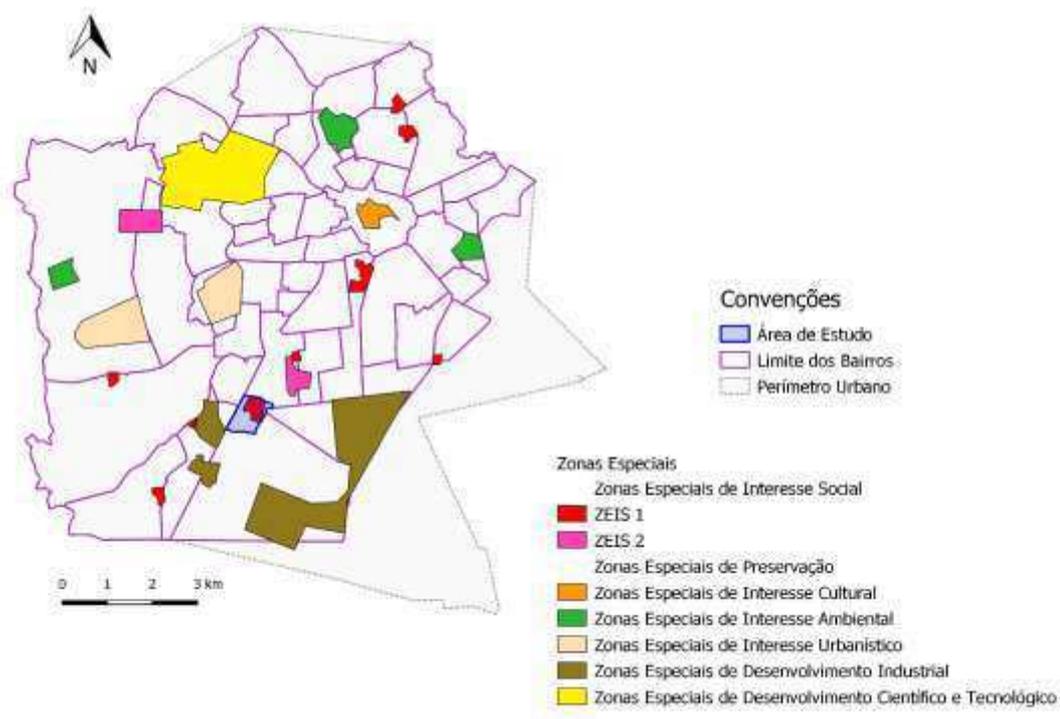


Figura 3: Localização da área de estudo e das ZEIS. Fonte: adaptado do PDM - CG (2006)

Através da sobreposição dos mapas de zoneamento, como mostra a Figura 4 é possível, ainda, observar que a área de estudo pertence, tanto à zona de ocupação dirigida, que restringe a ocupação por falta de condições físicas favoráveis de equipamentos urbanos ou infraestrutura, quanto à zona de recuperação urbana.

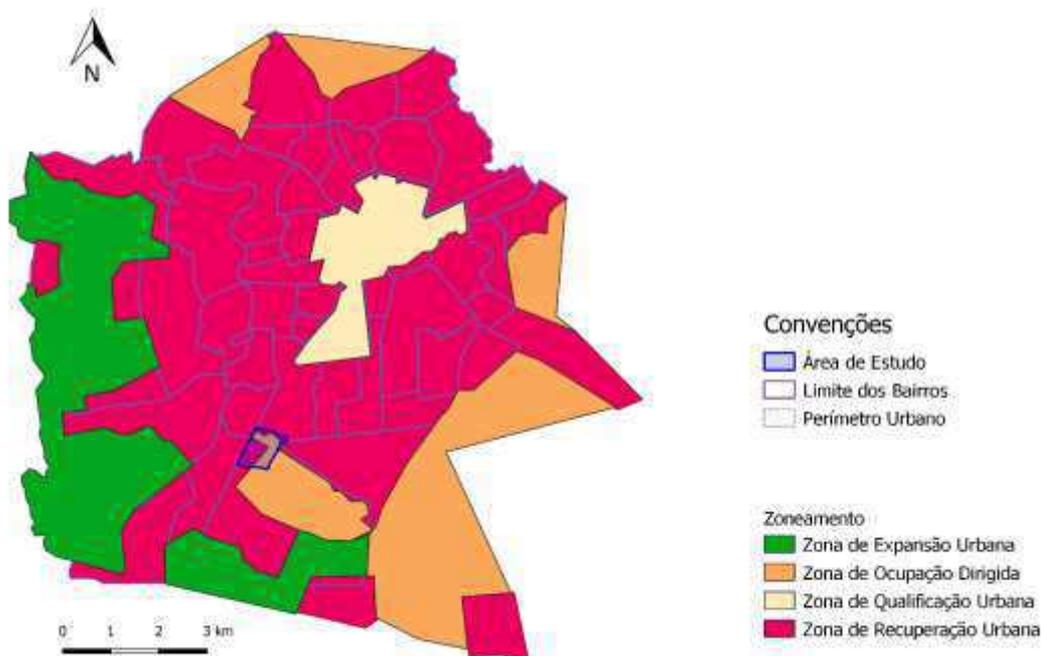


Figura 4: Localização da área de estudo e do zoneamento. Fonte: adaptado do PDM - CG (2006)

Dessa forma, como preconizado pelo PDM, o espaço geográfico urbano no qual a área de estudo está inserida é caracterizado pelo uso predominantemente residencial com alta incidência de loteamentos irregulares e núcleos de baixa renda.

3.3. INFRA-ESTRUTURA

Em relação às características técnicas da área, especialmente no tocante ao sistema de microdrenagem urbana da região, observou-se, através de arquivos fornecidos pela SEPLAN, referentes aos elementos de drenagem em toda a cidade para o ano de 2006, que não há nenhuma unidade de drenagem como boca de lobo ou poço de visita na área estudada como se verifica na Figura 5.

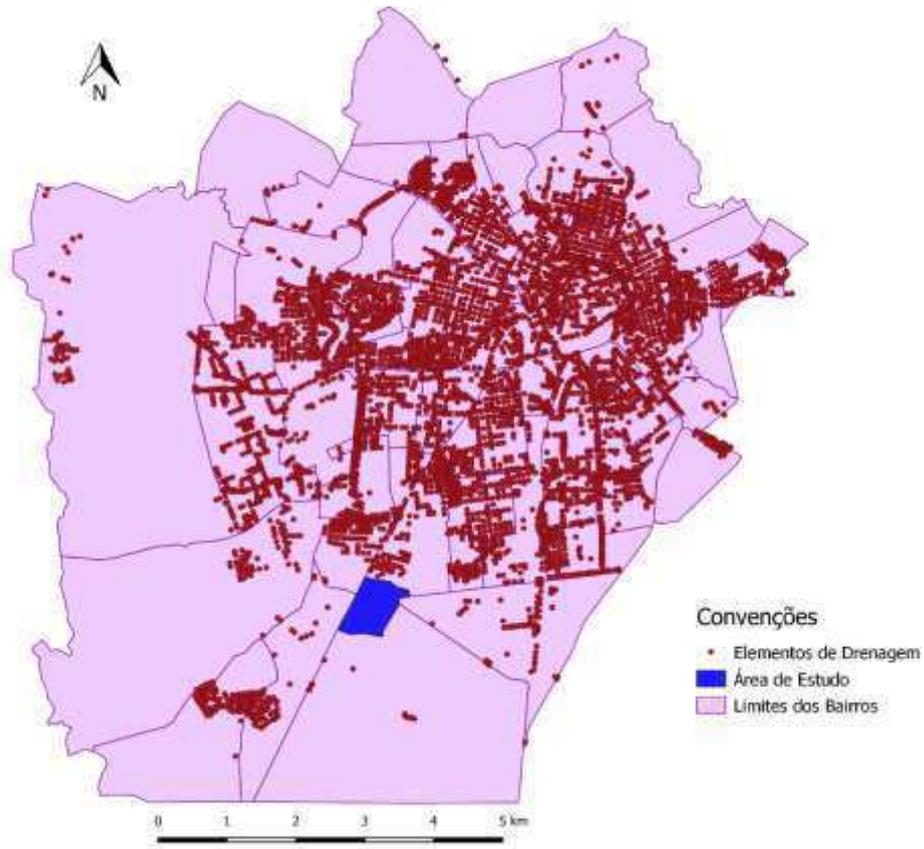


Figura 5: Localização dos elementos de drenagem na cidade de Campina Grande. Fonte: Adaptado de SEPLAN e elaboração do autor.

Foi feita ainda uma visita a campo para verificar a existência de tais informações, porém foram observadas apenas a existência de algumas bocas de lobo o que praticamente não correspondem a diferenças entre as informações do ano de 2006 para o ano de 2018. Os elementos de drenagem identificados estavam em mal estado, obstruídos, como pode ser visto nas Figura 7 e Figura 6.



Figura 7: Boca de Lobo obstruída pelo pavimento



Figura 6: Boca de Lobo obstruída por resíduos sólidos

O levantamento do sistema se faz importante para que seja replicada, de maneira mais próxima à realidade, a situação de escoamento do bairro, inclusive para verificar se foi tomada alguma medida para a diminuição do escoamento superficial.

4. METODOLOGIA

4.1. DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DA ÁREA DE ESTUDO

- DIMENSÕES DA ÁREA

Os valores de área e perímetro do bairro foram computados através do software QGIS, por meio do cálculo da geometria do polígono na tabela de atributos.

- TOPOGRAFIA

A topografia do terreno foi determinada através do Modelo de elevação do terreno - MDE determinado por Tsuyuguchi (2015) a partir do qual foi possível calcular a declividade, também pelo SIG supracitado, que permitiu ainda a elaboração de um mapa de direção para a determinação da localização do exutório utilizado para a simulação hidrológica.

4.2. COLETA E PROCESSAMENTO DE DADOS

Nesta etapa foi realizada, através de ferramentas como o Google Earth e o Google Street View, e de visitas a campo para verificar os dados coletados através das imagens, a coleta de dados necessários para a elaboração dos cenários de ocupação do solo. As imagens utilizadas foram de alta resolução espacial, 5 metros, fornecidas pelos satélites da empresa DigitalGlobe.

Tais dados foram digitalizados e editados utilizando o software desktop QGIS 3.2.3® para, então, serem elaborados cenários apresentados em 4.2.1. Após o processamento, quantificaram-se as porcentagens de impermeabilização total da área, e por quadra, visando a utilização do mesmo como input no software de simulação hidrológica, Storm Water Management Model – SWMM.

4.2.1. Cenários de ocupação

Para a definição dos cenários de ocupação do solo foram considerados, segundo um planejamento inicial, os anos de 2006 como cenário de pré-urbanização, por se tratar do ano em que foi elaborado o atual PDM; o ano de 2012 por ter sido observado um pico de urbanização atrelado à criação do programa Minha Casa Minha Vida e o ano de 2018 como cenário atual. Devido à falta de imagens para o ano de 2006, o cenário de pré-urbanização considerado foi o de 2005, analisado através da imagem do Google Earth.

Para efeito da análise temporal da urbanização e aumento da impermeabilização do solo, foi adicionado, ainda, o cenário relativo ao ano de 2009, por, apesar de não apresentar mudanças muito significativas em relação à urbanização e impermeabilização do solo comparado ao cenário de 2005, tratar-se do ano de implementação do programa Minha Casa Minha Vida, além de ser a primeira imagem disponível no Google Earth após elaboração do PDM, possibilitando uma análise do início da transformação urbana do bairro.

- Cenário I: 2005 – pré-urbanização
- Cenário II: 2009 – implementação do MCMV
- Cenário III: 2012 – pico de urbanização
- Cenário IV: 2018 – cenário atual

4.2.2. Caracterização do solo quanto à impermeabilização

A quantificação do percentual de impermeabilização do solo foi feita a partir da fotointerpretação das imagens de satélite, na qual foram relacionadas à área construída, considerado as dimensões dos lotes e das quadras.

Utilizando como mapa de base as imagens obtidas previamente, foi feita a criação de polígonos relativos a estes elementos, e o posterior cálculo das áreas correspondentes, bem como suas relações em valores percentuais, para cada cenário de ocupação. Estes dados foram também utilizados para as simulações hidrológicas. Nas quadras onde não foram encontradas edificações foi adotado um valor percentual de 1% a 5% de impermeabilização de acordo com a distribuição da vegetação.

4.3. SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS PARA OS CENÁRIOS DE OCUPAÇÃO

De modo a qualificar os efeitos da impermeabilização do solo em relação ao volume escoado numa bacia, considerando os mesmos eventos chuvosos, foi realizada uma estimativa das descargas das águas pluviais na saída da captação comparando uma situação pouco urbanizada para uma situação mais urbanizada, e conseqüentemente, mais impermeável, através do software SWMM. Foi calculada então, a resposta hidrológica da bacia a chuvas sintéticas associadas a diferentes períodos de retorno, definidos em **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

Foram utilizados dois cenários, um para 2005, correspondente à pré-urbanização e um cenário atual para o ano de 2018, representando a área majoritariamente urbanizada. A simulação teve como resultado, uma estimativa inicial das descargas na saída da bacia sob suas condições passadas e atuais, não sendo definido nenhum fluxo canalizado, apenas o escoamento superficial.

4.3.1. Determinação dos dados de entrada para o SWMM

Para a realização da simulação foram feitas considerações partindo de um sistema de drenagem supondo que o escoamento se dá pelos lotes, passeios e ruas até o exutório, uma vez que não há presença significativa de elementos de microdrenagem na área delimitada. Desta forma, as quadras foram consideradas como sub-bacias, e as ruas como os condutores, as delimitações destes elementos, bem como suas informações de direção de fluxo e declividade foram feitas a partir do software QGIS.

Para a definição do exutório, ponto para onde convergem os escoamentos de uma bacia hidrográfica após um evento de chuva, analisou-se a topografia da área, de modo a identificar o escoamento natural da região, e a presença de um possível corpo hídrico receptor.

As áreas das sub-bacias, em hectares, foram computadas através da ferramenta *auto-length* do SWMM, que fornece esses valores automaticamente após a delimitação do polígono.

O parâmetro *W* (*width*) diz respeito à largura representativa da bacia, definido pela relação entre sua área e a largura do retângulo equivalente. Foi calculado a partir de (2).

$$le = \frac{k_c \sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,128}{k_c} \right)^2} \right] \quad (2)$$

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

Sendo:

le = largura do retângulo equivalente;

kc = coeficiente de compacidade;

A = área da quadra;

P = perímetro da quadra;

Os dados de direção de fluxo na bacia, para definição de um exutório foram obtidos através de um processo de delimitação automática de bacia hidrográfica desenvolvido no ambiente ArcGIS, juntamente com as extensões Spatial Analyst e Hydrology Modeling (ESRI), através da abordagem *eight-direction (D8)*, na qual existem oito direções de saída válidas relacionadas às oito células adjacentes nas quais o fluxo poderia escoar, sua codificação é representada na Figura 8.

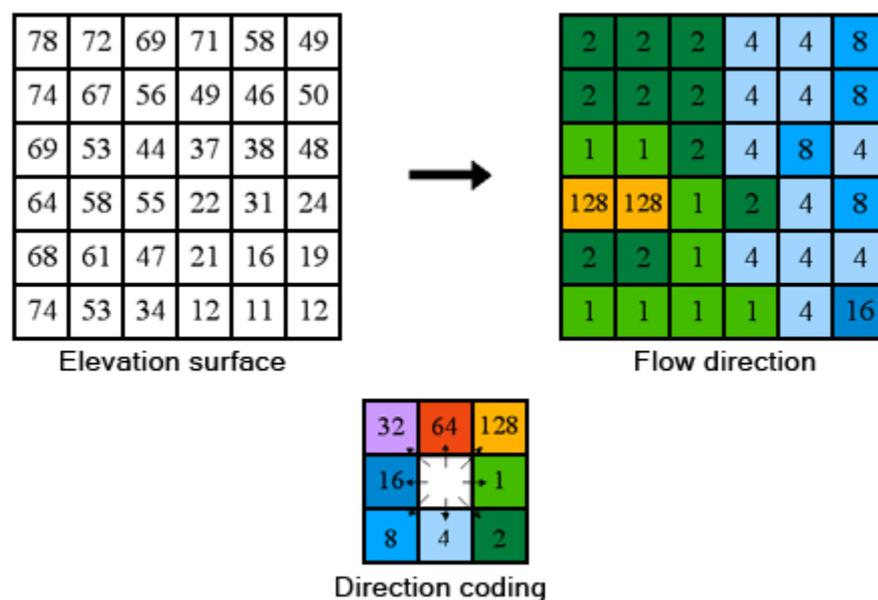


Figura 8: Codificação da abordagem D8. Fonte: ArcGIS (2018)

O cálculo do percentual de impermeabilização, %Imp, foi feito através do mapeamento das edificações, sendo calculadas as áreas projetadas de seus telhados e relacionando-as às quadras em que estavam inseridas, através da relação (4).

$$\%Imp = \frac{\Sigma \text{area telhado}}{\text{quadra}} \quad (4)$$

Para a simulação foi considerada ainda a impermeabilização causada pela pavimentação e construção de novas ruas e vias, seu cálculo foi realizado a partir da relação (5) na qual foi subtraído da área total o valor das áreas das sub-bacias delimitadas.

$$\%Imp_{vias} = \frac{\text{area total}}{\Sigma \text{area quadra}} \quad (5)$$

Para os valores de capacidade de armazenamento em depressões, foi utilizado o trabalho desenvolvido por Nóbrega (2012), no qual foi realizada uma calibração do modelo para a cidade de Campina Grande de modo a definir os valores de capacidade de armazenamento em depressões para superfícies permeáveis (DP) e impermeáveis (DI), bem como estimar as áreas impermeáveis não conectadas (AINC). A Tabela 4 apresenta o resultado desta calibração, que foi feita para 8 eventos chuvosos entre janeiro de 2007 e agosto de 2011.

PARÂMETROS ENCONTRADOS		
DI	DP	AINC
1,91mm	5,08mm	10%

Tabela 4: Valores de DI, DP e AINC para Campina Grande. Fonte: Nóbrega (2012)

Para a determinação da precipitação, a partir da curva IDF foram utilizados os parâmetros locais, K, b, n e m, para Campina Grande, propostos por Aragão *et al.* (2000) valores representados na Tabela 5.

COEFICIENTES DA CURVA IDF	
K	334
B	5
n	0,596
m	0,227

Tabela 5: Parâmetros para Campina Grande da curva IDF. Fonte: Adaptado de Aragão *et al.* (2000)

Para a determinação do tempo de retorno, que representa o período, em anos, para o qual um determinado evento hidrológico pode ser superado ou igualado, foram seguidas as recomendações de Tucci e Bertoni (2003) para áreas majoritariamente residenciais e comerciais com valores de 2 anos, 5 anos, e 10 anos, sendo este último considerado prevendo que haja o desenvolvimento do bairro, e conseqüente maior ocupação e impermeabilização do solo, tais parâmetros foram obtidos através da Tabela 6.

TEMPO DE RETORNO (anos)			
SISTEMA	CARACTERÍSTICA	INTERVALO	VALOR FREQUENTE
Microdrenagem	Residencial	2 - 5	2
	Comercial	2 - 5	5
	Áreas de prédios públicos	2 - 5	5
	Aeroportos	5 - 10	5
	Áreas comerciais e Avenidas	5 - 10	10
Macrodrenagem		10 - 25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 - 100	100

Tabela 6: Tempo de retorno para sistemas urbanos. Fonte: Adaptado de Tucci & Bertoni (2003)

O tempo de duração da chuva deve ser tal que permita que toda a bacia contribua para a vazão do exutório, é, então, numericamente igual, ou superior, ao tempo de concentração (t_c), que foi determinado, para a área em estudo, pelo método de Kirpich (6).

$$t_c = 0,019 \left(\frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \right) \quad (6)$$

Sendo:

t_c = tempo de concentração (min);

L = comprimento do talvegue (m);

S = declividade do talvegue (m/m).

O valor obtido foi de aproximadamente 16 minutos, porém foi adotado um tempo de 1 hora para a chuva, valor superior ao tempo de concentração, de modo a garantir a contribuição

de toda a área. A intensidade foi dividida em intervalos de 5 minutos tal como apresentado na Tabela 7.

TEMPO (min)	TEMPO DE RETORNO		
	2 anos	5 anos	10 anos
0	0,00	0,00	0,00
5	2,71	3,33	3,90
10	5,41	6,66	7,80
15	8,12	10,00	11,70
20	10,83	13,33	15,60
25	13,53	16,66	19,50
30	16,24	19,99	23,40
35	18,95	23,33	27,30
40	21,65	26,66	31,20
45	24,36	29,99	35,10
50	27,06	33,32	39,00
55	29,77	36,65	42,90
60	32,48	39,99	46,80

Tabela 7: Precipitação acumulada para TR de 2, 5 e 10 anos. Fonte: elaboração do autor.

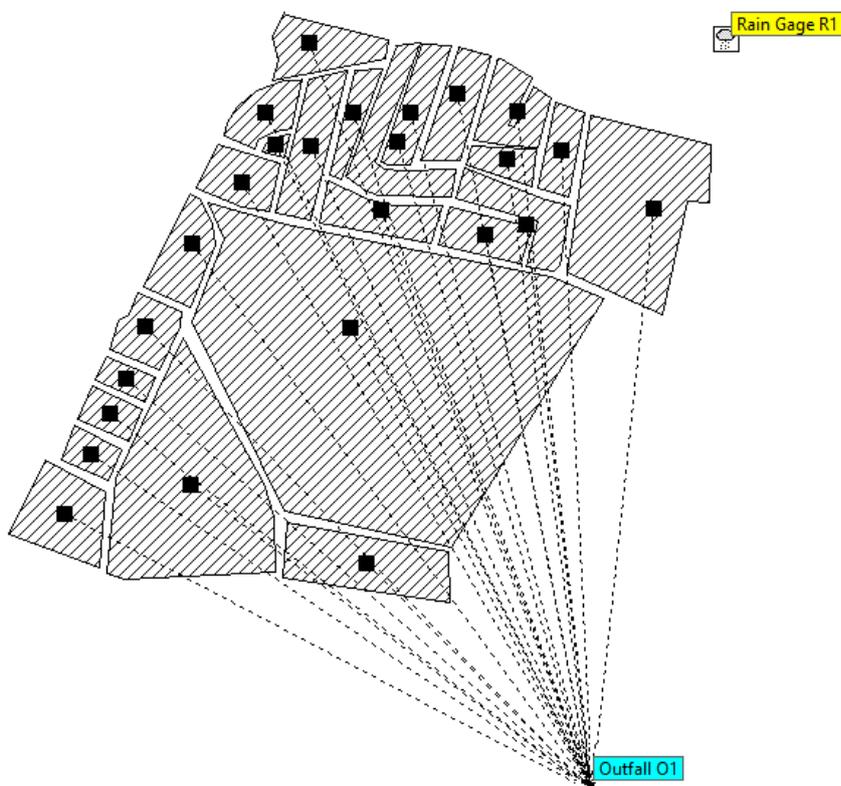
O método escolhido para calibração de infiltração, por já terem sido realizados estudos afins nas proximidades da área, como Paixão *et al.* (2009), foi o de Horton. Os parâmetros necessários para a calibração são a capacidade de infiltração inicial e final e a constante de decaimento, tais valores foram obtidos, pelo estudo supracitado, para a cidade de Lagoa Seca – PB, município vizinho a Campina Grande. Os valores encontrados, que foram utilizados como dados de entrada no SWMM estão apresentados na Tabela 8.

CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO INICIAL	CAPACIDADE DE INFILTRAÇÃO FINAL	CONSTANTE DE DECAIMENTO
(mm/h)	(mm/h)	(h^{-1})
396,10	7,10	2,677

Tabela 8: Valores utilizados para a equação de *Horton*. Fonte: Paixão et al. (2009)

4.3.2. Cenário I - pré-urbanização

Para a inserção dos cenários na interface do programa, foram desenhadas as sub-bacias de acordo com as delimitações das quadras, foram inseridos posteriormente o pluviômetro R1, e o exutório O1.



A Figura 9 mostra todas as sub-bacias que descarregam seu fluxo superficial diretamente

Figura 9: Representação do cenário I no SWMM

no nó de saída da bacia hidrográfica. Na realidade, a saída de descarga de cada sub-bacia deve ser o ponto onde o seu escoamento entra no sistema de drenagem canalizado. No entanto, uma vez que este exemplo não considera o encaminhamento através de quaisquer elementos canalizados na bacia hidrográfica, é aceitável utilizar o nó de saída da área de estudo (O1) como uma saída comum para todas as sub-captações. A elevação deste ponto é de 491m.

4.3.3. Cenário IV – atual

A localização do exutório O1 e do pluviômetro R1 foi feita da mesma forma do cenário I, sendo a diferença apenas a quantidade de sub-bacias, devido ao desmembramento de alguns lotes e glebas, bem como seus percentuais de impermeabilização, variando de

acordo com a ocupação do solo. A disposição destes elementos dentro do ambiente do SWMM está apresentada na Figura 10.



Figura 10: Representação do cenário IV no SWMM

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. OCUPAÇÃO DO SOLO

Nas Figuras 11,12,13 e 14 são mostrados os mapas de ocupação do solo, da área de estudo, gerados de acordo com os quatro cenários multitemporais, Cenário I: 2005 – pré-urbanização, Cenário II: 2009 – implementação do MCMV, Cenário III: 2012 – pico de urbanização e Cenário IV: 2018 – cenário atual, respectivamente.



Figura 14: Ocupação cenário I



Figura 112: Ocupação cenário II



Figura 13: Ocupação cenário III



Figura 124: Ocupação cenário IV

Analisando-se as Figuras de 11 a 14 foi possível observar o processo de apropriação sem planejamento do espaço, bem como o grande crescimento, e modificação da paisagem local especialmente do ano de 2009 ao ano de 2012, correspondendo ao período inicial do MCMV.

5.2. IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO

O percentual de impermeabilização, quantificado a partir da projeção dos telhados das edificações que praticamente dobrou do ano de 2005 para o ano de 2018 é apresentado na Figura 15, que relaciona cada cenário de ocupação à sua permeabilidade, que diminui devido à construção de novas edificações, e do desmembramento de glebas, antes desocupadas e permeáveis, em lotes de alto índice de ocupação, e em vias pavimentadas.

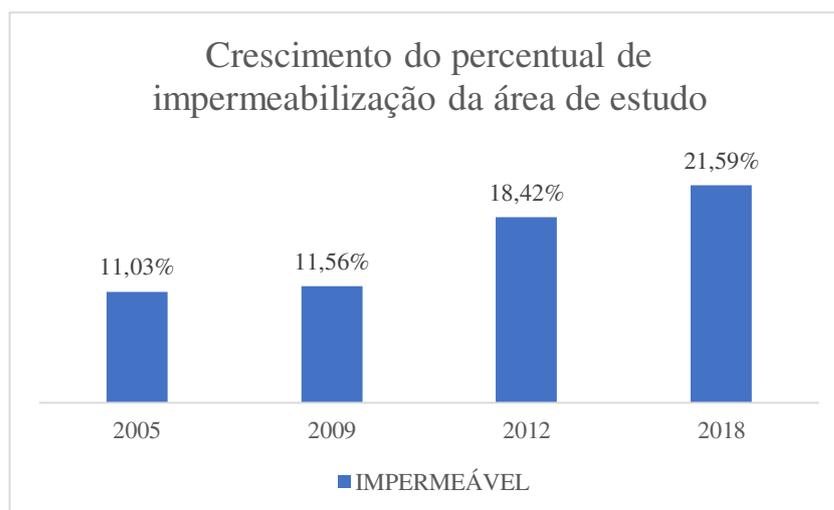


Figura 15: Gráfico comparativo dos percentuais de impermeabilização por cenário

Observa-se na Figura 15 uma evolução da impermeabilização da área ao longo do período estudado sendo que este crescimento é mais significativo a partir do ano de 2009, período no qual pode-se observar um aumento nessa variável de 7% em apenas 3 anos.

O valor 21,59% não é, em si, considerado alto para a zona na qual a área de estudo está inserida, vide valor máximo estabelecido pelo Código de Obras da cidade, apresentado na Tabela 9.

		Zona de Expansão Urbana	Zona de Qualificação Urbana	Zona de Ocupação Dirigida	Zona de Recuperação Urbana	Zona Especial de Preservação
Taxa de Ocupação Máxima	Uso Residencial	60%	60%	60%	60%	60%
	Outros usos	75%	75%	70%	75%	80%

Tabela 9: Taxas de ocupação máxima segundo o Código de Obras de Campina Grande. Fonte: Adaptado de PMCG (2013)

Apesar deste valor ser inferior ao estabelecido pelo Código de Obras, o fato de ter se dado em um curto período, justifica a análise e a preocupação de como foi feita esta ocupação, e se há mecanismos de infraestrutura acompanhando este crescimento.

5.3. SIMULAÇÕES HIDROLÓGICAS

5.3.1. Definição da direção do fluxo da área de estudo

O mapa obtido pelo Modelo de Elevação do Terreno, MDE que define a direção do fluxo de escoamento da área é apresentado na Figura 16.

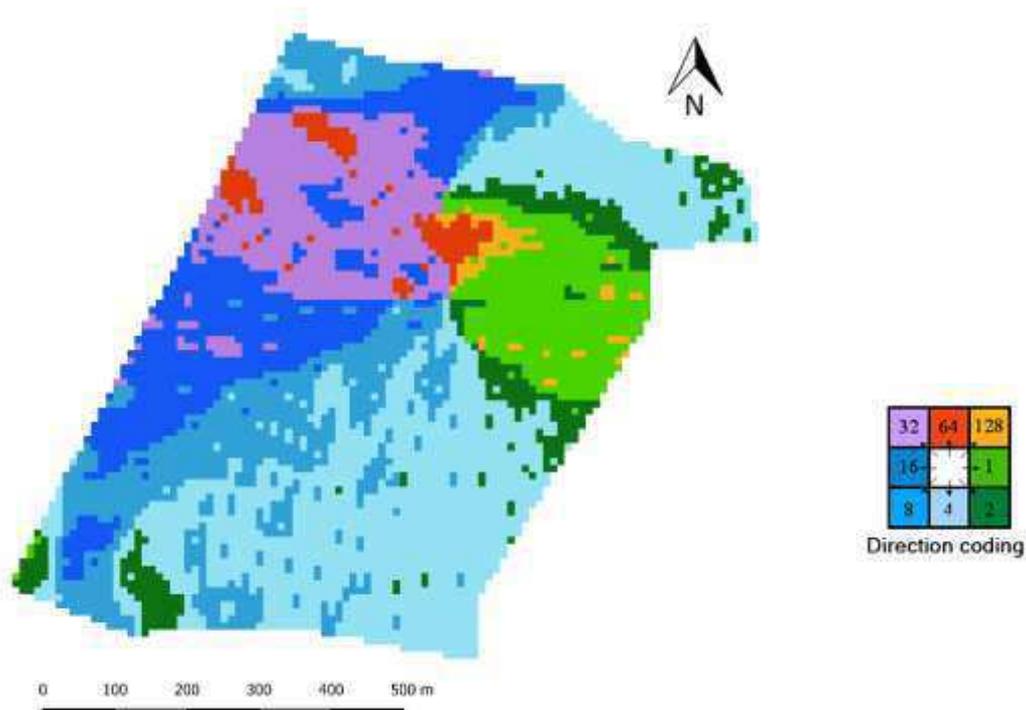


Figura 16: Mapa de Fluxo. Fonte: elaboração do autor.

Observando-se o mapa percebe-se que o ponto comum da maior área de escoamento, representada pela cor azul clara, se encontra na parte inferior do mapa. Portanto um projeto de microdrenagem, que venha a ser executado nesse bairro, deve considerar esta configuração natural do terreno.

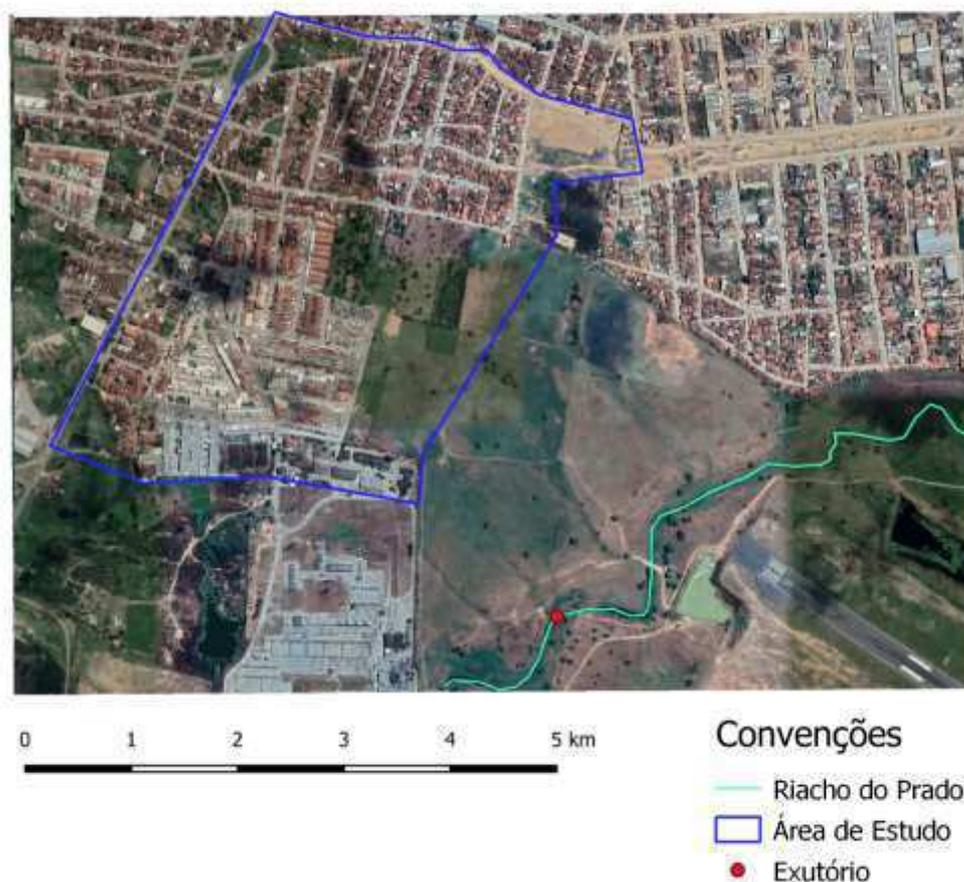


Figura 17: Localização do exutório. Fonte: elaboração do autor

Na Figura 17 é possível identificar o Riacho do Prado como o corpo hídrico receptor do escoamento gerado na área de estudo e o ponto indicado em vermelho como sendo o exutório.

5.3.2. Resultado das simulações hidrológicas

As figuras 16, 17 e 18 representam os hidrogramas de saída (fluxo total de entrada para o exutório representado pelo nó O1) obtidos para chuvas de projeto com tempo de retorno de 2, 5 e 10 anos nas condições dos dois cenários simulados, Cenário I e Cenário IV.

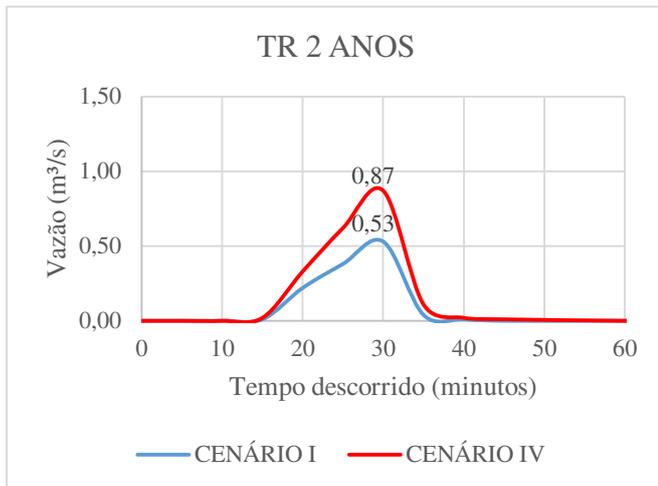


Figura 20: Hidrograma TR 2 anos

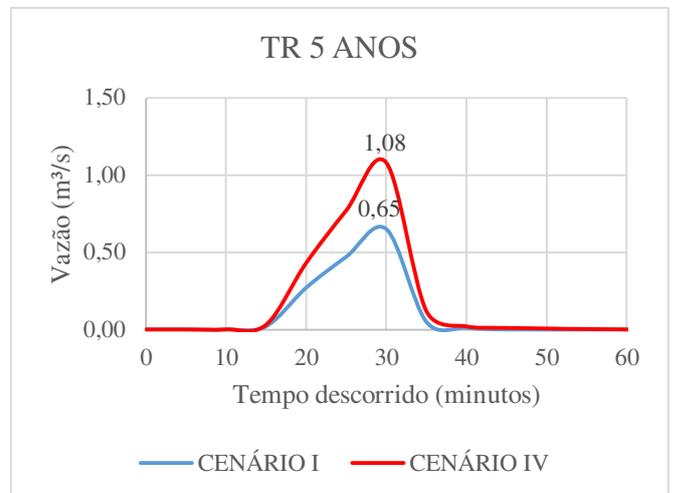


Figura 19: Hidrograma TR 5 anos

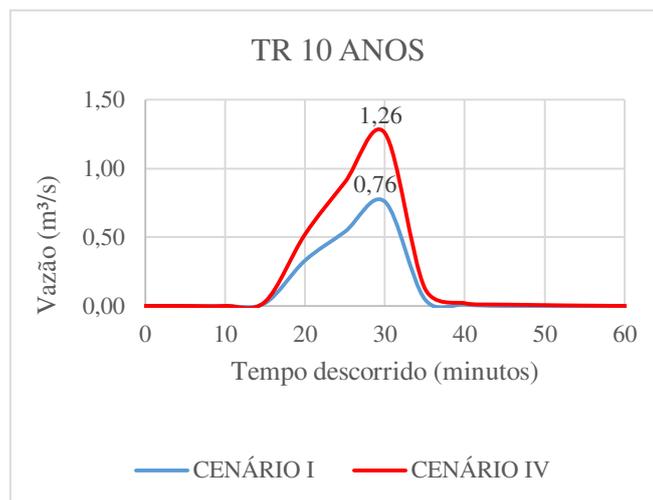


Figura 18: Hidrograma TR 10 anos

É possível perceber através dos gráficos comparativos, do cenário I, em azul, correspondente ao ano de 2005, e o cenário IV, em vermelho, correspondente ao ano de 2018, que o pico de escoamento aumenta tanto em relação aos tempos de retorno, quanto em relação ao percentual de impermeabilização, causado pela maior ocupação do solo, representada pelos cenários. Deste forma, observa-se que os valores de vazão são maiores quanto maior o tempo de retorno considerado para a chuva de projeto, no qual as vazões máximas apresentam, para o cenário I, um aumento de 22,6% de TR 2 anos para TR 5 anos, e de 16,9% de TR 5 anos para

TR 10 anos, para o cenário IV estes acréscimos são de 24,1% de TR 2 anos para TR 5 anos, e de 16,6% de TR 5 anos para TR 10 anos.

Já em relação ao aumento de vazão correspondente à diminuição da permeabilidade do solo devido à ocupação, pode-se observar que, para TR de 2 anos, houve um aumento do pico do Cenário I para o do Cenário IV de 64,15%, para o TR de 5 anos, o aumento foi de 66,15% e para TR 10 anos, o aumento foi de 65,79%, que se dá justamente pela diminuição da infiltração que ocorreu devido à impermeabilização.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou avaliar o impacto gerados pelo processo de urbanização, no bairro Palmeira Imperial, em Campina Grande-PB, através de uma análise integrada entre drenagem e ocupação do espaço urbano. Os resultados obtidos com este estudo, e análise de como eles se relacionam, mostram que a ocupação consequente da expansão urbana, especialmente quando feita em lotes de pequenas dimensões que impedem que hajam rcos que podem ser utilizados como áreas permeáveis, acarreta uma grande impermeabilização dos terrenos e das vias, o que impede a infiltração das águas pluviais no solo, aumentando o volume escoado.

O levantamento bibliográfico e o crescimento do bairro verificado a partir do Cenário II, que corresponde ao início do Minha Casa Minha Vida, permitiram reconhecer que este Programa, através da oportunidade da construção de casas populares, serve como importante auxílio para a expansão urbana. Porém este tipo de ocupação do solo, especialmente em bairros localizados em áreas de infra-estrutura deficiente, não pode ocorrer desvinculado do planejamento urbano, uma vez que a construção de residências próximas umas às outras e o desmembramento de glebas em lotes menores e ruas, além de modificar a paisagem natural, diminui a permeabilidade do solo. Desta forma, se faz necessária a implementação e fiscalização de leis que proporcionem o melhor ordenamento e uso do espaço, de modo a evitar desastres relacionados a eventos de chuva intensos.

No estudo verificou-se que a simulação hidrológica se mostrou uma ferramenta muito importante para a análise do impacto da impermeabilização do solo, porém, apesar de os hidrogramas obtidos estarem graficamente coerentes, seus valores foram ilustrativos, uma vez que não foram considerados os elementos de microdrenagem do local, de forma a aproximar os resultados da situação real. Para que seja feita uma análise mais fiel do comportamento do escoamento na área de estudo é necessário que a modelagem seja feita considerando estes elementos.

Para trabalhos futuros recomenda-se que, além das modificações sugeridas para as simulações hidrológicas, sejam simulados ainda outros cenários de impermeabilização, considerando a análise de tendências de crescimento através da observação da dinâmica espacial e temporal da área, a implementação de índices urbanísticos restritivos e técnicas compensatórias de baixo impacto.

7. REFERÊNCIAS

ALVES, P.B.R. Simulações de medidas compensatórias sustentáveis de drenagem: propostas em duas microbacias urbanas [dissertação]. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, Engenharia Civil e Ambiental; 2017.

AMORE, C. S. Entre o nó e o fato consumado, o lugar dos pobres na cidade: um estudo sobre as ZEIS e os impasses da reforma urbana na atualidade [tese]. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. Planejamento Urbano e Regional; 2013.

ARAGÃO, R.; FIGUEIREDO, E. E. ; SRINIVASAN, V. S. ; GOIS, R. S. S. Chuvas Intensas no Estado da Paraíba. V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, 2000, Natal. Anais do V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Natal – RN. Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, p. 74-85, 2000.

ASCE. Design and construction of urban stormwater management systems. ASCE manuals and reports of engineering practice no 77, 1992.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana, Porto Alegre; ABRH, 2005. 318 p

BERTONI, J. C. & TUCCI, C. E. M. Urbanización. In: TUCCI, C. E. M. & BERTONI, C. (Orgs.). Inundações urbanas na América do Sul. Porto Alegre, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

COSTA, N. N. Direito municipal brasileiro. Forense, 2006.

ELMQVIST, T. et al. Benefits of restoring ecosystem services in urban areas. Current opinion in environmental sustainability, v. 14, p. 101-108, 2015.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. Centro de Estatística e Informações. Déficit habitacional no Brasil 2009 / Fundação João Pinheiro, Centro de Estatística e Informações. - Belo Horizonte, 2012. BELO HORIZONTE, 2012.

GAUDARD, J. G. P. S.; BARRETO, A. G. PERMEABILIDADE DO SOLO À LUZ DE UM DESENVOLVIMENTO URBANO MAIS SUSTENTÁVEL. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v. 13, n. 2, 2016.

CAMPINA GRANDE. Lei Complementar nº 003, de 09 de outubro de 2006. Promove a revisão do Plano Diretor do Município de Campina Grande. Prefeitura Municipal de Campina Grande (2006). Gabinete do Prefeito. Plano Diretor Municipal. 50f, 2006.

GRANDE, M. D. et al. Environmental equity as a criterion for water management. Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, v. 364, p. 519-525, 2014.

KAUFFMANN, M. O.; PIMENTEL, L. S. Taxa de Impermeabilização do Solo: Um Recurso Para a Implementação da Bacia Hidrográfica Como Unidade de Planejamento Urbano Integrado À Gestão dos Recursos Hídricos. XI Encontro Nacional da ANPUR, 2003.

LOCASTRO, J. K.; MIOTTO, J. L.; DE ANGELIS, B. L. D.; CAXAMBU, M. G. Avaliação do uso sustentável da arborização urbana no município de Cafeara, Paraná. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 27, n. 2, p. 549-556, abr.-jun., 2017.

MARCELINO, E. V. Desastres naturais e geotecnologias: conceitos básicos. Caderno didático, v. 1, p. 34, 2008.

MIGUEZ, M.G., MASCARENHAS, F.C.B., MAGALHÃES, L.P.C. (2007). Multifunctional Landscapes For Urban Flood Control In Developing Countries. International Journal of Sustainable Development and Planning, Vol. 2, Nº2 (2007), pp. 153-166, ISSN 1743- 7601.

MINAKI, C.; AMORIM, M. C. C. T. Análise da qualidade ambiental urbana. Mercator-Revista de Geografia da UFC, v. 11, n. 24, 2012.

MIRANDA-RIBEIRO, A. ; VIANA, R. M.; SALIS, R. M. Déficit Habitacional no Brasil em 2007 e 2008: notas metodológicas e principais resultados. Revista Geografias, v. 9, n. 1, p. 97-115, 2013.

MOTA, S. Urbanização e meio ambiente. 3. ed., Rio de Janeiro: ABES, 2003.

NERI, L. P.; ARAÚJO, T. C.; FERREIRA, M. S. Arborização urbana: importância e benefícios para a qualidade de vida dos guanambienses. Planejamento urbano e regional. 69ª Reunião Anual da SBPC - 16 a 22 de julho de 2017 - UFMG - Belo Horizonte/MG.

NÓBREGA, P. V. M. Análise do Sistema de Drenagem de Campina Grande/PB, para Proteção de Áreas de Risco de Inundação. Dissertação de Mestrado. Campina Grande: UFCG, 2012.

PAIXÃO, Francisco JR et al. Ajuste da curva de infiltração por meio de diferentes modelos empíricos. *Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias*, v. 2, n. 1, 2009.

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

ROSSMAN, Lewis A. Storm water management model user's manual, version 5.0. Cincinnati: National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, US Environmental Protection Agency, 2010.

SAITO, S.M. Desastres naturais e geotecnologias-Vulnerabilidade-Caderno didatico no 6. Sao Jose dos Campos, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/CRS. 32p, 2011.

SALLES, M. C. T.; GRIGIO, A. M.; DA SILVA, M. R. F. Expansão urbana e conflito ambiental: uma descrição da problemática do município de Mossoró, RN-Brasil. *Revista Sociedade & Natureza*, v. 25, n. 2, 2013.

SANTOS, K. A. Análise multitemporal integrada da permeabilidade do solo nos bairros Catolé e Sandra Cavalcante em Campina Grande–PB [dissertação]. Campina Grande: Universidade Federal de Campina Grande, Engenharia Civil e Ambiental; 2015.

SILVA, R. B. Segregação e/ou integração: o ‘Programa de Desfavelamento e Loteamentos Urbanizados’ em Presidente Prudente (Dissertação de mestrado). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2005

SILVA, R. M. da. Introdução ao Geoprocessamento: conceitos, técnicas e aplicações. Novo Hamburgo: Feevale, 2007.

SOUZA, M. L. Mudar a cidade: Uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbana. 2 ed. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2009

SPRUIILL, C. A.; Workman, S. R.; Taraba, J. L. Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model. *Transactions of the ASAE*, v.43, p.1431-1439, 2000

TSUYUGUCHI, BARBARA BARBOSA. Macrodrenagem e ocupação do solo no município de Campina Grande: Caracterização, simulação e análises sistêmicas. Dissertação de Mestrado do PPGECA-UFPG. Campina Grande , 2015

TUCCI, C. E. M. Coeficiente de escoamento e vazão máxima de bacias urbanas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 1, p. 61-68, 2000.

WATHERN, P. Introductory guide to EIA. In: Environmental impact assessment; theory and practice. Unwin Hyman, 1988. p. 1.