

# Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais  
Departamento de Engenharia Civil

**ESTIMATIVA E ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA  
DEMANDA DE ÁGUA CONSIDERANDO CENÁRIOS  
DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

**ESTER LUIZ DE ARAÚJO**

**Campina Grande**  
**Data: MAIO / 2012**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS E  
SANITÁRIA

---

**ESTIMATIVA E ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA DEMANDA DE ÁGUA  
CONSIDERANDO CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

---

**Ester Luiz de Araújo**

Dissertação de Mestrado

Campina Grande – PB

2012

---

Ester Luiz de Araújo

**ESTIMATIVA E ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA DEMANDA DE ÁGUA  
CONSIDERANDO CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental (PPGECA) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadores:

Iana Alexandra Alves Rufino e

Mauro Normando Macêdo Barros Filho

Campina Grande – PB

2012



13/07/2012 10:00:00



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFPG

A663e Araújo, Ester Luiz de.  
Estimativa e análise do crescimento da demanda de água considerando cenários de uso e ocupação do solo / Ester Luiz de Araújo . – Campina Grande, 2012.

92 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores: Profa. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino, Prof. Dr. Mauro Normando Macêdo Barros Filho.

Referências.

1. Expansão Urbana – Consumo de Água. 2. Planejamento Urbano Integrado. 3. Modelagem de Tendências de Uso. 4. Ocupação do Solo.  
I. Título.

CDU 628.1 (043)

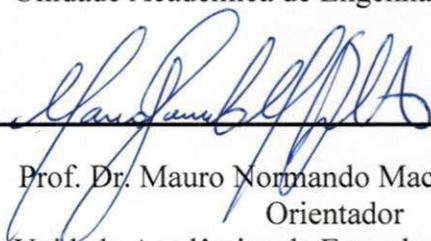
**ESTIMATIVA E ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA DEMANDA DE ÁGUA  
CONSIDERANDO CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

Aprovada em 31 de maio de 2012.



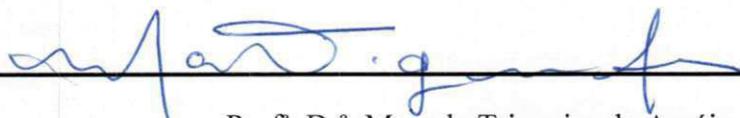
---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Iana Alexandra Alves Rufino  
Orientadora  
Unidade Acadêmica de Engenharia Civil – UFCG



---

Prof. Dr. Mauro Normando Macêdo Barros Filho  
Orientador  
Unidade Acadêmica de Engenharia Civil – UFCG



---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Marcele Trigueiro de Araújo Moraes  
Examinador Externo  
Universidade Federal da Paraíba - UFPB



---

Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Márcia Maria Rios Ribeiro  
Examinador Interno  
Unidade Acadêmica de Engenharia Civil – UFCG

Campina Grande – PB

2012

*Ao meu herói e pai Alfredo Luiz, que agora  
está olhando por mim junto de Deus e a  
minha amada mãe Mércia Araújo que me  
deu força para continuar a caminhada.*

*Dedico.*

## AGRADECIMENTOS

---

A Deus pelas infinitas bênçãos derramadas sobre mim durante toda minha vida e especialmente no decorrer deste trabalho, onde passei o momento mais difícil da minha vida.

Ao meu querido pai *Alfredo Luiz de Farias (in memória)* que foi meu primeiro professor e a minha mãe *Mércia Araújo* que sempre me ensinou a ser determinada e lutar por meus ideais. Sem vocês, jamais teria conseguido.

Ao meu amor *Pasccolly Túlio* pela paciência, incentivo, apoio e dedicação em todos os momentos. Amo muito você!

As minhas amadas irmãs *Amanda Araújo* e *Estefany Araújo* que foram um estímulo para continuar quando tudo parecia não ter mais sentido.

A minha querida orientadora *Iana Alexandra* por todos os conhecimentos transmitidos, pela enorme paciência e pela forma amável e carinhosa que sempre me tratou; minha gratidão.

Ao meu orientador *Mauro Barros* pela disponibilidade, ensinamentos e orientações.

Ao querido professor *Carlos Galvão* pela oportunidade, pelos ensinamentos e pelas brincadeiras.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental pelos ensinamentos transmitidos durante o curso: *Andrea Rodrigues, Eduardo Figueiredo, Camilo Farias, Carlos Galvão, Iana Alexandra, Wilson Curi* e *Zédna Vieira*. Aos funcionários dos laboratórios de Hidráulica I e II, especialmente *Vera* e *Aurezinha* e a secretária do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental *Josete Ramos*.

Aos colegas de turma: *Adriana Ribeiro, Itamara Taveira, John Elton, Andreza Miranda, Erick Leal, Leomar Soares, Renato Santiago, Bárbara Vieira, Camila*

*Macedo, Paulo Nóbrega e Willams Costa*, obrigada pelas inúmeras “gargalhadas” nos intervalos das aulas e pelas experiências compartilhadas.

As colegas *Adriana Ribeiro e Itamara Taveira* que se tornaram amigas e me ajudaram tanto no trabalho como na vida no momento que mais precisei.

A todo pessoal do Bloco BU que sempre tornaram o ambiente de trabalho o mais agradável possível. Especialmente a *John Elton, Samilly Jaciara e Douglas Almeida* pela ajuda com as ferramentas de *geoprocessamento*, e aos meus “guarda-costas” *Jonathan Rocha, Anderson Rodrigues, Silvio Júnior e Bruno Alencar* que me acompanharam na exaustiva pesquisa de campo.

A CAGEPA, na pessoa de *Ronaldo Menezes* e de *Alba Dornellas* por todas as informações e dados disponibilizados.

A Prefeitura Municipal de Campina Grande, na pessoa de *Renato Cabral*, por fornecer informação e dados fundamentais para esta pesquisa.

A minha família que é um presente de Deus.

À CAPES pelo apoio financeiro.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para realização deste trabalho.

*Muito Obrigada!*

**ESTIMATIVA E ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA DEMANDA DE ÁGUA  
CONSIDERANDO CENÁRIOS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO**

A expansão das médias e grandes cidades tem sido motivo de preocupação de vários pesquisadores do meio urbano, pois o crescimento urbano não planejado provoca inúmeros impactos nos serviços de infraestrutura de uma cidade, especialmente nos sistemas de distribuição de água, que estão diretamente associados a qualidade de vida das pessoas. A fim de fornecer indicadores para os gestores municipais e das companhias de água, o presente trabalho se propôs a estimar e analisar o crescimento da demanda de água utilizando como dados de entrada o uso e ocupação do solo atual e mais dois cenários futuros (de curto prazo,  $t = 5$  anos; e de longo prazo,  $t = 10$  anos), produzidos através de dados coletados em campo na área de estudo e de simulação das mudanças de uso do solo no modelo Dinâmica EGO. A metodologia adotada neste trabalho compõe-se das seguintes etapas: 1) *Aquisição e processamento de dados*, onde foram coletados e editados os dados utilizados na pesquisa; 2) *Modelagem espacial do uso do solo*, em que se utilizou o Sistema de Informação Geográfica (SIG) e o modelo dinâmico espacial Dinâmica EGO na geração da situação atual e dos cenários futuros; 3) *Modelagem da demanda de água*, onde estimou-se a demanda de água atual e nos cenários futuros de curto e longo prazo; e 4) *Validação dos dados de demanda de água*, onde foram comparados os dados de valores de demanda de água estimado pela metodologia proposta e os valores de consumo de água medidos pela companhia de água local. Neste sentido, foi gerado o mapa da ocupação atual da área de estudo e os mapas de uso do solo atual e dos cenários futuros. Obteve-se, também, a estimativa da demanda de água para o uso do solo atual, cenário futuro de curto prazo e o cenário futuro de longo prazo, onde encontrou-se um crescimento da demanda de água em torno de 20%.

**Palavras chave:** expansão urbana, consumo de água, planejamento urbano integrado, modelagem de tendências de uso e ocupação do solo.

**ESTIMATION AND ANALYSIS OF GROWTH OF DEMAND FOR WATER  
FROM SCENARIOS OF USE AND OCCUPATION OF THE SOIL**

The expansion of medium and large cities has been a concern of many researchers in urban area, because unplanned urban growth causes numerous impacts on service infrastructure of a city, especially in water distribution systems, which are directly associated with people's quality of life. In order to provide indicators for the municipal and water companies, this study aimed to estimate and analyze the growth of water demand using as input the use and current land cover and two future scenarios (short period,  $t = 5$  years, and long-term,  $t = 10$  years), produced from data collected in the field of study and simulation of land use changes in the model Dinâmica EGO. The methodology adopted in this work comprises the following steps: 1) *data acquisition*, in which all data used in the research were collected, 2) *spatial modeling of land use*, in which the Geographic Information System (GIS) and dynamic model of spatial Dinâmica EGO in the generation of the current situation and future scenarios were used, 3) *modeling of water consumption*, in which it was estimated the current water consumption and future scenarios of short and long term; and 4) *Validation of the consumption data water*, in which the data of values for water consumption estimated by the proposed method and those measured by the local water company were compared. In this sense, the map was generated from the current occupation of the study area and land use maps of current and future scenarios. It was also obtained the estimation of water consumption for the current land use, future scenario of short-term and long-term future scenario, in which a growing demand for water by about 20% was determined.

**Keywords:** urban sprawl, water consumption, urban planning, modeling of usage trends and land use.

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1 Princípios do planejamento urbano sensível aos recursos hídricos. ....	14
Figura 2 Estrutura de um SIG.....	17
Figura 3 Abstração da paisagem em um modelo espacial de mudanças, utilizando uma estrutura <i>raster</i> .....	20
Figura 4 Fluxograma de desenvolvimento e aplicação de um modelo de simulação de mudanças. ....	21
Figura 5 Localização do município de Campina Grande – PB. ....	28
Figura 6 Mapa de localização das zonas rural e urbana do município de Campina Grande - PB. ....	28
Figura 7 Localização do bairro do Catolé, Campina Grande – PB. ....	29
Figura 8 Edifícios de grande e médio porte situados no bairro do Catolé.....	30
Figura 9 Principais <i>shoppings</i> da cidade de Campina Grande - PB. ....	30
Figura 10 População de Campina Grande – PB nas últimas décadas. ....	31
Figura 11 Indicação esquemática dos edifícios mais altos de Campina Grande. Adaptado de Camboim e Bonates (2010).....	33
Figura 12 (a) Censo 2000 (b) Censo 2010: Percentual de domicílios tipo APARTAMENTO por setor censitário (destaque nos dois mapas das mudanças de tipologia no bairro do Catolé).....	34
Figura 13 Edifícios de grande porte que serão construídos no bairro do Catolé.....	35
Figura 14 Concessionária de automóveis. ....	36
Figura 15 Futura sede da Fundação CDL.....	36
Figura 16 Representação do relevo da cidade de Campina Grande, PB através de Modelo Numérico de Terreno em TIN (Triangular Irregular Network). ....	39
Figura 17 Rede de distribuição de água (simplificada) do bairro do Catolé: predominância dos diâmetros de 50 e 60 mm. Destaque para o setor 5 do SDACG. ....	41
Figura 18 Diagrama esquemático das etapas metodológicas. ....	42
Figura 19 Tabela de dados alfanuméricos. ....	50
Figura 20 Fluxograma da metodologia utilizada na simulação da mudança de uso do solo. ....	53
Figura 21 Esquema dos dados utilizados no cálculo da estimativa da demanda de água para a <i>situação atual</i> do bairro e do <i>cenário I</i> . ....	56

Figura 22 Esquema dos dados utilizados no cálculo da estimativa da demanda de água para o cenário II.....	59
Figura 23 Diagrama esquemático da etapa de validação dos dados de demanda de água.....	62
Figura 24 Mapa da ocupação do solo atual do bairro do Catolé.....	64
Figura 25 Situação atual do uso do solo do bairro do Catolé.....	66
Figura 26 Cenário I (futuro de curto prazo) de uso do solo do bairro do Catolé.....	67
Figura 27 Cenário II (futuro de longo prazo) do uso do solo do bairro do Catolé.....	69
Figura 28 Espacialização da estimativa da demanda de água atual do bairro do Catolé.....	71
Figura 29 Espacialização da estimativa da demanda de água para o cenário I (futuro de curto prazo) do bairro do Catolé.....	72
Figura 30 Edifícios em construção no bairro do Catolé.....	88

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1 Densidade populacional de alguns bairros de Campina Grande – PB.....	32
Tabela 2 Localidades atendidas pelo Sistema de Abastecimento de Água de Campina Grande. ....	38
Tabela 3 Zonas de pressão do Sistema de Abastecimento de Água de Campina Grande. ....	40
Tabela 4 Planilha utilizada no levantamento de campo dos dados de uso do solo.....	46
Tabela 5 Consumo de água para estabelecimentos comerciais, industriais e públicos. .	57
Tabela 6 Demanda de água estimada para o bairro do Catolé, cenário II. ....	73
Tabela 7 Demanda de água estimada para o bairro do Catolé, Campina Grande – PB. .	74
Tabela 8 Dados do Sistema de abastecimento de água de Campina Grande para o outubro de 2009. ....	74
Tabela 9 Dados da rede de distribuição de água do bairro do Catolé (Setor 5). ....	75
Tabela 10 Consumo de água por economia medido pela CAGEPA e demanda de água estimada pela metodologia proposta. ....	75
Tabela 11 Alguns estudos sobre o processo de verticalização das cidades brasileiras. .	92

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

---

AC	Autômato Celular
AESA	Agencia Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
CAD	Computer Aided Design
ETA	Estação de Tratamento de Água
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PMCG	Prefeitura Municipal de Campina Grande
PVC	Poli Cloreto de Vinila
SDA	Sistema de Distribuição de Água
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINDUSCON	Sindicato da Indústria de Construção Civil
TIN	Triangular Irregular Network

---

AGRADECIMENTOS .....	ii
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	v
LISTA DE FIGURAS .....	vi
LISTA DE TABELAS .....	viii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	ix
SUMÁRIO .....	x
INTRODUÇÃO .....	1
CAPÍTULO I – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
1.1 Expansão urbana .....	5
1.1.1 Verticalização .....	7
1.2 Consumo de água nas cidades .....	9
1.2.1 Estimativa do consumo de água .....	12
1.3 Planejamento urbano sensível aos recursos hídricos .....	13
1.4. Sistemas de Informação Geográfica (SIG) .....	15
1.4.1 Estrutura dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) .....	17
1.4.2 Funções de um SIG .....	18
1.5 Modelos dinâmicos espaciais .....	19
1.5.1 Dinâmica EGO .....	23
CAPÍTULO II – CASO DE ESTUDO .....	27
2.1 Área de estudo .....	27
2.2 Expansão urbana e verticalização .....	31
2.3 Sistema de distribuição de água .....	37
2.3.1 Rede de distribuição .....	38
CAPÍTULO III – METODOLOGIA .....	42
3.1 Considerações Iniciais .....	42
3.2 Aquisição e Processamento dos Dados .....	43
3.2.1 Coleta de dados institucionais .....	43
3.2.2 Coleta de dados em campo .....	45
3.2.3 Tabulação dos dados .....	48
3.2.4 Edição dos dados espaciais .....	48

3.2.5 Codificação .....	49
3.3 Modelagem Espacial.....	50
3.3.2 Modelagem espacial do uso do solo.....	51
3.3.2.1 Situação atual e cenário I de uso do solo.....	51
3.3.2.2 Cenário II de uso do solo.....	52
3.3.3 Estimativa do consumo de água e visualização .....	55
3.3.3.1 Situação atual e cenário I (futuro de curto prazo).....	55
3.3.3.2 Cenário II (futuro de longo prazo).....	57
3.3.4 Validação dos dados de demanda de água .....	59
CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	63
4.1 Cenários de uso do solo .....	63
4.1.1 Situação atual e cenário I (futuro de curto prazo) .....	65
4.1.2 Cenário II (futuro de longo prazo) .....	67
4.2 Estimativa da demanda de água.....	69
4.2.1 Situação atual e cenário I (futuro de curto prazo) .....	70
4.2.2 Cenário II (futuro de longo prazo) .....	73
4.3 Validação da estimativa da demanda de água.....	74
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	79
ANEXOS .....	88

A expansão urbana, tanto nas grandes como nas médias cidades, e seus inúmeros impactos, sejam eles sociais, econômicos, ambientais ou nos serviços de infraestrutura têm sido objeto de estudo de muitas pesquisas sobre o meio urbano (ZHAO-LING *et al.*, 2007; HE *et al.*, 2011; CORDÃO, 2009).

Nesse contexto, Almeida (2007) ressalta que uma importante contribuição dos atuais recursos computacionais para o entendimento do meio urbano tem sido a possibilidade de simulação de fenômenos dinâmicos espaciais diversos, desde expansão urbana, mudanças de uso do solo intra-urbano, processos de verticalização da ocupação, drenagem urbana e enchentes, deslizamento de terra, tráfego de pedestres e veículos, entre outros.

Dentre as principais preocupações dos pesquisadores do meio urbano estão os impactos provocados pelas inundações e o atendimento às crescentes demandas de água. No entanto, segundo Carneiro *et al.* (2010) não existe nenhum texto de cunho legal que defina com clareza a relação entre a gestão das águas e o ordenamento do território.

É fato que a dinâmica do crescimento urbano associado ao aumento populacional provoca uma contínua necessidade de ampliação dos diversos equipamentos urbanos que compõem a infra-estrutura de uma cidade. Destaca-se o Sistema de Distribuição de Água (SDA), pois além da complexidade de sua estrutura, está diretamente relacionado com um elemento de difícil obtenção: a demanda de água.

Tsutyia (2006) concorda que é de fundamental importância para o planejamento e gerenciamento de sistemas de abastecimento a estimativa do consumo de água, assim como, a operação e as modificações do sistema são totalmente dependentes do conhecimento da demanda de água.

A fim de estudar a problemática da expansão urbana e seus possíveis impactos no sistema de distribuição de água, a cidade de Campina Grande – PB foi escolhida como área de estudo desta pesquisa, pois, de acordo com Castro (2010) o setor da construção civil da cidade vive um período de expansão. Este crescimento foi estimado em cerca de 40% em 2009, e em cerca de 60% em 2010, segundo o Sindicato da Indústria de Construção Civil do município (SINDUSCON).

A cidade de Campina Grande tem apresentado, como em grande parte das cidades do país, um rápido e desordenado crescimento ao longo das últimas décadas. Nos últimos anos, o crescimento da cidade tem apresentado um caráter misto, ou seja, expansão da mancha urbana, caracterizado pelo crescimento horizontal e grande número de novos edifícios residenciais em muitas áreas da cidade, reflexo do crescimento vertical.

Dentre as áreas da cidade que passam pelo processo de adensamento vertical, o bairro do Catolé, situado na região sul da cidade, merece destaque, pois é uma das áreas com maior número de edifícios de grande porte (concluídos e em construção).

Neste contexto e diante da natureza da pesquisa e da complexidade na aquisição de dados de campo de toda a cidade, elegeu-se o bairro do Catolé como caso de estudo deste trabalho.

O presente estudo se propõe a analisar o crescimento urbano do bairro do Catolé utilizando dados coletados em campo e ferramentas de simulação de mudança de uso do solo e sistemas de informação geográfica (SIG), assim como realizar uma estimativa da demanda de água apoiada nos cenários de crescimento e mudança de uso do solo a fim de sinalizar aos gestores municipais e da companhia de distribuição de água a possível elevação (não planejada) na demanda de água da área.

O objetivo geral deste trabalho é analisar o crescimento da demanda de água causada, principalmente, pela verticalização, a partir de cenários de uso e ocupação do solo da cidade de Campina Grande - PB, utilizando como caso de estudo o bairro do Catolé.

Para isso, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- Estabelecer cenários de análise que permitam uma comparação quantitativa da demanda de água para diferentes períodos.
- Obter um cenário de análise de uso do solo “de longo prazo” para um horizonte de 10 anos, utilizando um modelo de simulação de crescimento urbano e a partir de padrões de ocupação observados em campo.
- Estimar a demanda de água para os cenários estabelecidos e realizar as devidas adaptações e validações do método de cálculo utilizado.
- Analisar os resultados obtidos, correlacionando as questões relativas à gestão da demanda de água em ambientes urbanos e o planejamento (ou a falta dele) em áreas de expansão vertical, como o bairro estudado.

A dissertação é composta por quatro capítulos a saber:

*Capítulo 1 - Revisão Bibliográfica:* São abordados aspectos relativos à expansão urbana e ao crescimento vertical nas grandes e médias cidades, o capítulo dá ênfase ao consumo de água e sua estimativa e ao planejamento urbano sensível aos recursos hídricos. Trata também dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e dos modelos dinâmicos espaciais com ênfase à simulação de mudança de uso do solo.

*Capítulo 2 – Caso de estudo:* Consiste da apresentação da área de estudo com suas características, a situação da expansão urbana e da verticalização na cidade de

Campina Grande e no bairro do Catolé como, também, as características e peculiaridades da rede de distribuição de água que atende à área de estudo.

*Capítulo 3 – Metodologia:* Apresenta as etapas metodológicas adotadas na pesquisa, com ênfase para coleta e preparação dos dados da pesquisa; a modelagem espacial do uso do solo; o método de estimativa da demanda de água e a metodologia utilizada na validação dos dados de demanda de água.

*Capítulo 4 – Resultados e discussões:* São apresentados os resultados obtidos e discutidas as tendências de mudança de uso do solo no bairro do Catolé e o possível crescimento da demanda de água.

No final, são apresentadas as conclusões do trabalho baseado nos objetivos a que se propôs, assim como as recomendações para trabalhos futuros.

### 1.1 Expansão urbana

O crescimento urbano ocorrido nas últimas décadas transformou o Brasil num país essencialmente urbano. Esse processo ocorreu de forma especial nas Regiões Metropolitanas e nas cidades que se transformaram em pólos regionais (TUCCI, 2008). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2011), a população do Brasil está mais urbanizada. No ano 2000, 81% dos brasileiros viviam em áreas urbanas e em 2010 este valor subiu para 84%.

De acordo com Ferrari e Lapolli (2000), o crescimento das grandes cidades ocorre de forma acelerada, trazendo problemas de ordem social, econômica e de infraestrutura. Este fato é um desafio para os estudiosos do meio urbano e este se torna ainda maior quando o crescimento das cidades está associado à verticalização, pois neste caso, os problemas de infraestrutura são mais complexos.

Na opinião de Martins *et al.* (2010), a evolução observada na migração de populações para os centros urbanos é uma realidade que se manterá no futuro e, à luz do que se passa hoje, cada vez mais a maioria da população viverá nos grandes centros e cada vez menos nas zonas rurais. Se esta hipótese se confirmar, é provável que os equipamentos urbanos existentes não absorvam tamanhas demandas, seja esta de água para consumo, capacidade de absorver as águas servidas e o lixo gerado ou ainda a capacidade de fluxo no sistema viário.

Os dados do Censo 2010 mostram que na última década a população do Brasil aumentou aproximadamente 12,33%. Na cidade de Campina Grande, um dos pólos regionais do interior do nordeste, o aumento populacional foi de 8,41% entre os anos de 2000 e 2010 (IBGE, 2011).

Para Costa e Alves (2005), o conhecimento do crescimento e da distribuição da população é importante no tocante à expansão urbana, pois estes dados estão diretamente associados às áreas de crescimento. Como também, é possível identificar as necessidades de infraestrutura de uma cidade através dos mapas de densidade populacional.

Em geral, o crescimento demográfico e a expansão urbana ocorrem de forma simultânea e na maioria das vezes ocasionam mudanças no espaço urbano que, geralmente, ocorrem de forma não planejada acarretando diversos impactos ao meio urbano.

Muitos trabalhos têm sido desenvolvidos sobre a expansão urbana e seus impactos em determinados sistemas, como por exemplo, Nogueira *et al.* (2007) estudou a expansão urbana da cidade de Manaus – AM com o objetivo de identificar quais os principais impactos ambientais seriam causados pelo crescimento urbano. Caridade e Pereira (2009) analisaram o crescimento urbano do município de Ubatuba – SP com o objetivo de verificar a influência deste crescimento na balneabilidade das praias da região.

Neste sentido, é um desafio constante para os gestores, tanto municipais como de companhias que administram os serviços de infraestrutura de uma cidade (entenda-se por serviços de infraestrutura: abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto, drenagem de águas pluviais e o sistema viário), a resolução dos inúmeros problemas acarretados pela expansão urbana. Neste contexto, ressalta-se o abastecimento de água, que, segundo Mara e Formiga (2009), é a estrutura urbana que merece uma atenção especial, pois depende diretamente da água, um recurso cada dia mais escasso.

Percebe-se então que a expansão das cidades de grande e médio porte é um processo inevitável que, na maioria das vezes, ocorre sem um planejamento adequado,

fato que pode implicar diversos problemas futuros relacionados aos equipamentos urbanos da cidade, como: racionamento de água, inundações e alagamento, trânsito congestionado nos horários de pico, entre outros.

### *1.1.1 Verticalização*

De acordo com Somekh (1997), o processo de verticalização pode ser entendido como a multiplicação efetiva do solo urbano, facilitada pelo uso do elevador, que tem como característica o aproveitamento intensivo do solo urbano. Löwen Sahr (2000) entende que a verticalização é um processo que se distingue fisionalmente pela construção de edificações com diversos pavimentos.

Nesta perspectiva, é possível afirmar que o processo de verticalização acarreta inúmeras alterações e impactos sobre o meio urbano. E devido a isto, é necessário um planejamento bem elaborado na hora de criar um projeto de expansão urbana, pois não se pode estimular o adensamento de uma área que não possui infraestrutura compatível com o volume de pessoas. Especialmente quando o projeto de expansão prever áreas com potencial para verticalização, pois neste caso, o volume de pessoas é muito maior (CAMBOIM e BONATES, 2010).

Neste sentido, Jesus (2010) alerta que o aumento de espacialidades em escala vertical é responsável por inúmeros problemas de ordem social, econômica e ambiental entre eles: a expulsão da população de baixa renda para a periferia das cidades, a interferência no conforto térmico, na circulação do ar, na supressão de jardins e quintais - antes espaços ao ar livre agregados à habitação - e a supervalorização de áreas específicas da urbe, contribuindo para o aumento da segregação sócio-espacial.

Para Nucci (1999) os impactos gerados no ambiente pela verticalização vão de aspectos facilmente identificados, como impermeabilização total do solo, aumento da

densidade demográfica, entre outros, até as consequências mais difíceis de serem estudadas, como a alteração na dinâmica dos ventos e criação de micro-climas alterando o conforto térmico da população. Como consequências desses primeiros impactos aparecem: uma sobrecarga das redes viária, de esgoto, de água, de eletricidade, coleta e deposição de lixo, etc.

Nesta perspectiva, diversos autores realizaram pesquisas a fim de identificar/ avaliar os principais impactos causados pelo crescimento vertical.

Faria e Soares (2007) analisaram a verticalização de um bairro de Belo Horizonte – MG, sem o devido planejamento urbano-ambiental, a fim de demonstrar os inúmeros impactos e danos ao patrimônio ambientais da cidade como também a qualidade de vida da população local.

Silva *et al.* (2011) analisaram o desempenho energético diante do processo de crescimento vertical da cidade de Macapá – AP. Segundo os autores, o processo de verticalização ainda não teve um aumento significativo no consumo de energia porém, foi exigido um significativo investimento em ampliação de infraestrutura que caso não haja um adequado planejamento no presente pode sobrecarregar a infraestrutura do setor energético no futuro.

Cabe ressaltar que, de modo geral, os estudos sobre a verticalização no Brasil são incipientes. Ramires (1998) destaca que os primeiros estudos sobre a verticalização das cidades no Brasil foram desenvolvidos na Universidade de São Paulo (USP) em meados da década de 1980. Nos anexos desse trabalho, pode-se observar os principais estudos sobre o crescimento vertical no Brasil.

Muitos trabalhos sobre a verticalização das cidades brasileiras ressaltam que o início da verticalização está associado à ideia de *status* social e ao crescimento

econômico da cidade (CESARIL, 2010; RAMIRES, 1998; CAMBOIM e BONATES, 2010; MORAIS *et al.*, 2007).

Bonates (2010) afirma que um dos fatores que induzem ao processo de verticalização é a valorização de uma determinada área que, de imediato, provoca a elevação do custo do solo influenciando diretamente no custo da moradia.

Para Moraes *et al.* (2007) a questão da verticalização nas cidades acaba sendo impulsionada pela ampliação do crédito imobiliário. Colocada como um marco revolucionário na paisagem urbana, a verticalização surge nas cidades como uma nova ideologia, uma nova concepção de morar, onde ter boa localização, infraestrutura e segurança passam a ser sinônimo de “*status*” para os segmentos nele inseridos.

## **1.2 Consumo de água nas cidades**

O conhecimento dos dados de demanda de água nos centros urbanos é de fundamental importância para o planejamento e gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água. Na maioria dos casos, as companhias prestadoras de serviços de saneamento classificam os consumidores de água por categoria de consumo a fim de estabelecer políticas tarifárias e cobranças diferenciadas para cada categoria.

Para Vicente (2005), a demanda de água tratada pode ser entendida pela soma do volume de água consumido pelos clientes abastecidos, o volume de perdas, o volume previsto para apagar incêndios, volumes operacionais (lavagem de reservatórios, drenagem de adutoras, usos públicos).

Nesta perspectiva, Yassuda *et al.* (1976 *apud* Falkenberg, 2005) e Tsutiya (2006) classificam os consumidores de água dos centros urbanos de acordo com as seguintes classes de uso:

**Uso doméstico (ou residencial):** água consumida nas habitações, compreendendo as parcelas destinadas a fins higiênicos, potáveis e alimentares, e à lavagem em geral. Esta

classe pode ser dividida como de uso interno e externo, dado que a água para o uso externo destina-se à lavagem de calçadas, rega de jardins, lavagem de carros, etc., enquanto que a água para o uso interno destina-se ao consumo doméstico em geral;

**Uso comercial:** várias são as atividades comerciais que utilizam água, de modo que essa classe de uso abrange desde pequenos até grandes consumidores como, por exemplo: bares, restaurantes, hotéis, padarias, lanchonetes, lojas, *shopping center*, entre outros.

**Uso industrial:** água de uso industrial pode ser utilizada para uso humano, uso doméstico, água incorporada ao produto, água utilizada no processo de produção e água perdida ou para usos não rotineiros.

**Uso público:** parcela de água destinada à rega de jardins, lavagem de ruas e passeios, edifícios e sanitários de uso público, alimentação de fontes, esguichos e tanques fluxíveis de redes de esgoto;

**Perdas:** sob o ponto de vista operacional dos sistemas públicos de abastecimento, são consideradas perdas de água os volumes não contabilizados, dividindo-se em perdas físicas (parcela não consumida) e perdas não físicas (água consumida e não registrada).

Diversos estudos foram desenvolvidos a fim de identificar os fatores que influenciam o consumo de água nas cidades. Oliveira e Koide (2011) realizaram uma análise sobre o consumo de água em prédios residenciais nas cidades de Goiânia – GO e Brasília – DF na tentativa de relacionar o volume consumido com os aspectos construtivos e com as condições socioeconômicas dos usuários.

O consumo de água nos centros urbanos teve um aumento expressivo nas últimas décadas, devido principalmente a urbanização, com o deslocamento da população da zona rural para as grandes e médias cidades, e a tendência de adensamento, fato expresso em muitas áreas pela verticalização.

De acordo com estimativas realizadas pela Agenda 21, até o ano de 2025, 60% da população mundial estará vivendo em áreas urbanas, compreendendo cerca de cinco bilhões de pessoas. O acelerado crescimento da população urbana, a partir do final da Segunda Guerra Mundial, e o conseqüente aumento do consumo de recursos naturais estão submetendo os recursos hídricos a graves pressões (Brasil, 2000).

Barreto (2008) reforça essa ideia ao afirmar que à medida que as cidades cresceram em tamanho também cresceu a demanda por água, resultando em obras de infraestrutura para abastecimento e coleta. E que, além disso, houve o adensamento populacional nas cidades, resultantes dos efeitos da urbanização, que provocou um verdadeiro êxodo rural.

Segundo Soler (2008) nas últimas décadas, buscando atender a demanda decorrente do crescimento populacional urbano e da industrialização, os sistemas de abastecimento de água passaram por grandes ampliações. Observa-se que a expansão urbana gera a necessidade de ampliações do serviço de distribuição de água.

Kostas e Chrysostomos (2006) alertam que o aumento da demanda de água é contínua e crescente devido principalmente a três fatores: o aumento da população, o crescimento da economia e o estilo de vida ocidental. Os autores ressaltam ainda que o crescimento da demanda é preocupante, pois a oferta é limitada, ou seja, os recursos hídricos são finitos.

Diante desta perspectiva, percebe-se a necessidade urgente de estudos sobre o consumo de água em cidades de grande e médio porte e de forma especial em áreas que estejam sujeitas à expansão urbana.

### **1.2.1 Estimativa do consumo de água**

Um dos fatores mais importantes no planejamento e gerenciamento de sistemas de distribuição de água é a previsão do consumo de água, pois a operação dos sistemas e suas respectivas ampliações ou melhorias estão diretamente relacionadas com a demanda de água (TSUTYA, 2006).

Segundo Odan (2010), prever significa produzir informações acerca do futuro, permitindo que o planejamento possa ser realizado com base em tais previsões. Nesta perspectiva, a estimativa da demanda de água em sistemas de distribuição se torna uma ferramenta indispensável do ponto de vista do dimensionamento da capacidade do sistema como também no tocante a ampliações e melhorias no mesmo.

Al-Omari e Abdulla (2008) afirmam que as demandas de água nos nós da rede de distribuição de água geralmente são estimadas baseadas no consumo *per capita* por uso, na densidade populacional em torno do nó em estudo, por modelos estocásticos ou pela calibração, onde as demandas estimadas estão associadas às incertezas tanto da estimativa quanto dos dados utilizados.

Na opinião de Herrera *et al.* (2010), a previsão da demanda de água é cada vez mais essencial para concepção, gestão e operação dos sistemas de abastecimento de água, como também em atividades tais como: planejamento de novos empreendimentos ou sistemas de expansão, dimensionamento da rede de distribuição de água como também em questões relacionadas a gestão das águas urbanas.

Lins (2011) destaca que os modelos de gerenciamento e previsão da demanda de água podem ser muito úteis para avaliar quais medidas devem ser tomadas, quais as decisões mais apropriadas e que políticas e estratégias podem e devem ser implantadas, ou seja, são ferramentas para auxiliar os gestores na tomada de decisão.

Alguns estudos sobre estimativa e gerenciamento da demanda de água foram desenvolvidos para a cidade de Campina Grande – PB (GUEDES, 2009; ALBUQUERQUE, 2004; LINS, 2011).

Guedes (2009) avaliou e selecionou alternativas de gerenciamento da demanda de água a fim de fornecer subsídios para os gestores na elaboração de um programa de uso racional da água da cidade.

Albuquerque (2004) analisou e selecionou alternativas de gerenciamento da demanda de água para um bairro da cidade de Campina Grande – PB.

Lins (2011) analisou as interrelações entre variáveis socioeconômicas, climáticas e de consumo residencial de água de uso doméstico, visando à obtenção daquelas variáveis determinantes desse consumo, para a adoção de medidas de gerenciamento da demanda urbana de água na cidade de Campina Grande – PB.

Menezes (2011) ressalta que para obtenção de bons resultados num plano operacional, é primordial que a previsão de demanda, tanto horária como diária, seja o mais próxima possível da realidade. Segundo o mesmo autor, em sistemas não automatizados e com uma macromedição deficiente, essa previsão torna-se um processo muito difícil. Vicente (2005) concorda que o conhecimento do total consumido é de grande importância para o desenvolvimento da operação do sistema de abastecimento de água.

### **1.3 Planejamento urbano sensível aos recursos hídricos**

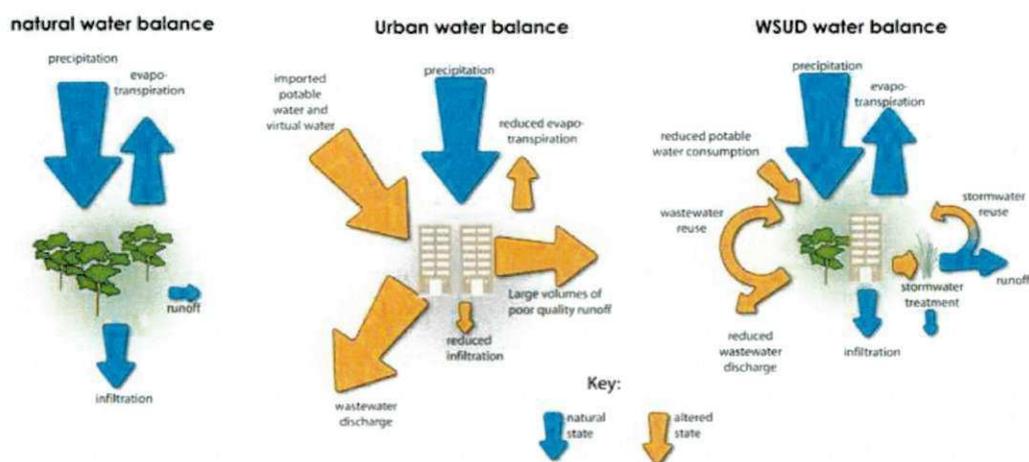
O termo “planejamento urbano sensível aos recursos hídricos” foi usado pela primeira vez na Austrália em 1994 e no final da década de 1990 foi difundido para todo o mundo o conceito de “planejamento e gerenciamento do solo integrado aos recursos hídricos” (WYATT, 2011).

O planejamento urbano sensível aos recursos hídricos defende a ideia de que é necessário um planejamento urbano associado a preocupações com os recursos hídricos.

Segundo Wong (2006), os princípios fundamentais do planejamento urbano sensível aos recursos hídricos são:

1. Redução da demanda de água potável através da utilização de dispositivos poupadores e da busca de fontes alternativas como a água de chuva e a reutilização das águas residuais tratadas respeitando o princípio da qualidade de água - uso final;
2. Diminuição da produção de efluentes e tratamento das águas residuais e reutilização das mesmas com o mesmo princípio do item anterior;
3. Tratamento das águas pluviais urbanas com o objetivo de obter uma qualidade de reutilização e/ou para descargas em águas de superfície;
4. Utilização de água pluvial na paisagem e recreação urbana.

Na Figura 1 podem-se observar os princípios do planejamento urbano sensível aos recursos hídricos.



Fonte: <http://waterbydesign.com.au/whatiswsud/>.

**Figura 1** Princípios do planejamento urbano sensível aos recursos hídricos.

Menezes (2011) ressalta que a urbanização em elevados índices, traduzida no crescimento das cidades, com a construção civil atingindo altos níveis, principalmente na edificação vertical e de conjuntos habitacionais populares, vem exigindo respostas urgentes dos sistemas de abastecimento, numa época em que a escassez de água potável já é uma realidade, de tal modo que, em determinados locais, a realização do atendimento torna-se difícil.

#### **1.4. Sistemas de Informação Geográfica (SIG)**

O SIG é um sistema que trata informações geográficas, onde a realidade é modelada como uma série de elementos geográficos definidos de acordo com dois tipos de dados: o *dado espacial* e o *dado alfanumérico*. O elemento de dado espacial, ou geográfico, é usado para fornecer uma referência para o elemento de dado alfanumérico, ou dado não-espacial (MIRANDA, 2005).

DeMers (2003) define o SIG como uma série de subsistemas de um sistema maior. Os subsistemas definidos pelo autor são: *entrada de dados*, que coleta e prepara dados espaciais de diversas fontes; *armazenamento e edição de dados*, que organiza os dados espaciais numa maneira que possibilita a recuperação, atualização e edição; *manipulação e análise de dados*, que realiza funções de modelagem, agrega e desagrega dados e estima parâmetros e constantes; e *saída de dados*, que apresenta a base de dados em forma de tabelas, gráficos ou mapas.

Nas últimas décadas ocorreu um aumento significativo na utilização do SIG em muitos estudos (TIBÚRCIO, 2006; FARIA *et al.*, 2009; RUFINO, 2004) e em especial estudos urbanos (CORDÃO, 2009; SILVA *et al.*, 2011; ARAÚJO e RUFINO, 2011).

Na opinião de Jiménez e Sendra (1993) os SIGs são uma ferramenta útil para o planejamento e gerenciamento de uma ampla gama de problemas territoriais, no

entanto, as aplicações mais comuns têm abordado as questões ambientais, planejamento urbano e infraestrutura.

Rufino (2004) afirma que devido a aptidão do SIG de simular e inter-relacionar eventos de natureza intrinsecamente espaciais, é possível realizar projeção de cenários para planejamento, bem como a modelagem de funções de correlação e a interação de dados de monitoramento para efeito de controle, supervisão e obtenção de diagnósticos.

Nesta perspectiva, muitos autores desenvolveram estudos e pesquisas a fim de prever o comportamento dos serviços públicos diante das mudanças ocorridas no meio urbano, especialmente quando estas são acarretadas pela expansão urbana.

Longley (2005) trata da utilização do SIG como sistema de apoio ao planejamento dos serviços públicos, especialmente os serviços urbanos, onde segundo o autor, através da utilização do SIG é possível elaborar medidas concretas e racionais para atender demandas da comunidade usuária dos serviços.

Rego (2007) desenvolveu um modelo de simulação hidráulica para apoio ao planejamento de sistemas de abastecimento de água, propôs uma metodologia de desenvolvimento com a aplicação em diversos cenários de exploração. De acordo com o autor, o SIG foi considerado como um instrumento de análise com elevado potencial para apoio à modelação hidráulica.

Melo (2008) utilizou o SIG na seleção e hierarquização de áreas para implantação de um aterro sanitário na Região Metropolitana de Aracajú – SE. Araújo e Rufino (2011) ressaltam que uma das grandes vantagens da inserção imediata dos dados coletados em campo no SIG é a possibilidade de visualização da distribuição espacial das informações.

### 1.4.1 Estrutura dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Segundo Batista (2005), os componentes de um SIG se relacionam de forma hierárquica e podem ser elencados como a seguir:

I - Interface com usuário;

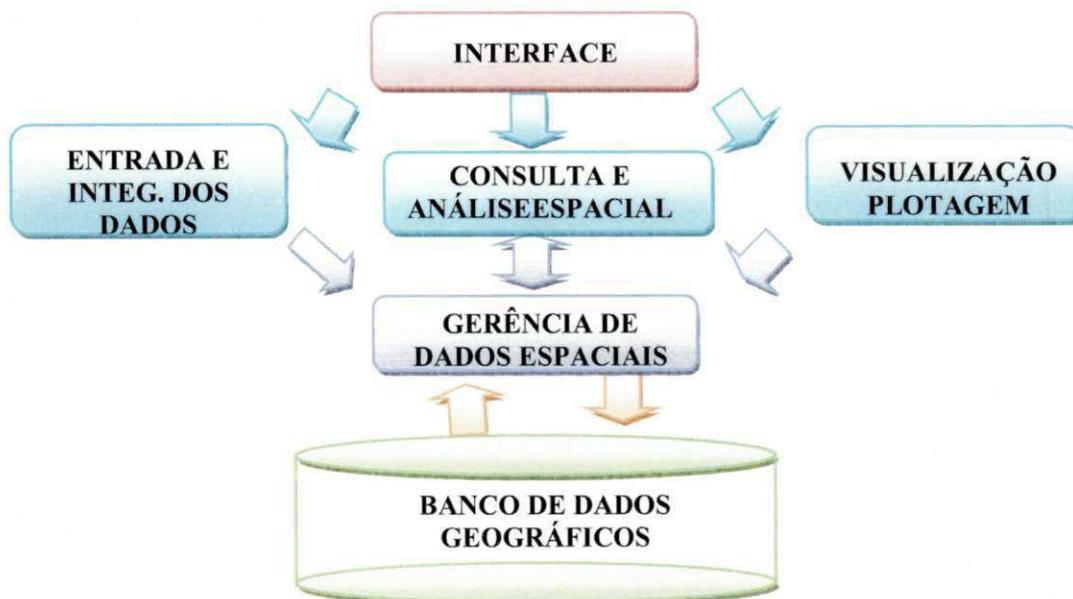
II - Entrada e integração de dados;

III – Funções de análise de dados espaciais;

IV - Visualização e plotagem;

V - Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

No nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um SIG deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise e visualização). No nível mais interno, um sistema de gerência de bancos de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais de seus atributos (BATISTA, 2005). Na Figura 2 podem-se visualizar essas relações.



Fonte: Adaptado de Batista (2005).

**Figura 2** Estrutura de um SIG.

### ***1.4.2 Funções de um SIG***

O SIG é um dos produtos mais significantes deste período de alta mudança tecnológica. Sua principal finalidade é fornecer suporte às tomadas de decisão baseadas em dados espaciais (TIBÚRCIO, 2006).

Paredes (1994) explica que o SIG é um sistema que auxilia o processo de observação do mundo real nas atividades de definição, mensuração, classificação, enumeração, operação, manutenção, gerenciamento e ainda nos processos de análise do mundo real.

É neste sentido que, na opinião de Bonham-Cartes (1994), a aplicação de SIG alcança maiores metas através de uma ou mais das seguintes atividades com dados espaciais:

**Organização:** a organização é principal atividade quando se trata de dados espaciais e, principalmente, quando há um grande volume de informações. A principal característica para organização de dados em SIG é a localização espacial, embora os dados também possam ser organizados segundo suas características não-espaciais. A eficiência da organização dos dados em SIG influencia as demais atividades.

**Visualização:** a visualização explora as capacidades gráficas dos computadores através da apresentação dos dados organizados. Muitas vezes a informação em forma de tabelas de números se torna incompreensível, ao passo que, quando esta mesma informação é convertida para mapa, a compreensão se torna mais fácil devido aos padrões da distribuição espacial que são facilmente revelados.

**Relacionamento espacial:** o relacionamento espacial é uma atividade complementar a visualização de dados. A visualização apresenta padrão o espacial dos dados organizados e o relacionamento espacial responde a questões espaciais como, por

exemplo: selecionar características próximas a outras, encontrar características que estejam parcial ou totalmente dentro de certas áreas, entre tantas outras.

**Combinação:** a combinação de conjunto de dados torna mais fácil a compreensão de certos fenômenos que não são aparentes quando se considera apenas camadas de dados espaciais isoladas. As operações que combinam *layers* (planos de informação) são conhecidas como álgebra de mapas, essas operações podem ser operações lógicas ou operações aritméticas.

**Análise espacial:** a análise espacial no SIG pode ser conduzida por medidas, cálculos estatísticos, organização de mapas, modelos e tabelas. Ela consiste no processo de compreender o significado dos dados espaciais.

**Predição:** a predição em SIG está associada ao uso de mapas algébricos na geração de modelos utilizados no prognóstico de problemas. Esses modelos envolvem um conjunto de exercícios para explorar resultados de eventos com o propósito de examinar o desempenho dos referidos modelos.

Dentro desse contexto, o SIG se torna uma ferramenta indispensável em estudos onde a localização geográfica é uma característica importante para as análises. O número e o tipo de aplicação como também as análises que podem ser realizadas por um SIG está associada diretamente à diversidade e disponibilidade dos conjuntos de dados geográficos (CALIJURI e LOURES, 2006).

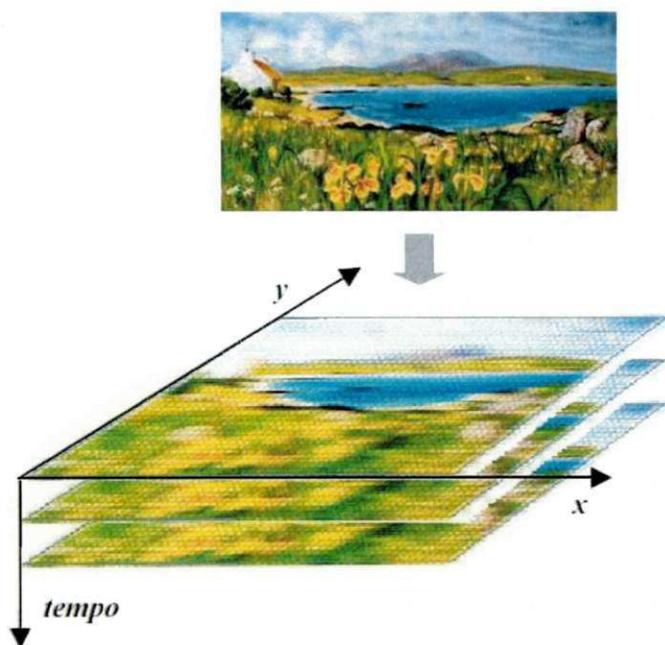
### **1.5 Modelos dinâmicos espaciais**

De acordo com Echenique (1975), modelo é uma representação simplificada da realidade, capaz de descrever um quadro compreensível e passível de experimentação. Tucci (2005) define modelo como sendo a representação de algum objeto ou sistema,

numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com o objetivo de entendê-lo e buscar respostas para diferentes entradas.

Um modelo constitui-se de pelo menos três elementos: variáveis, relacionamentos e processos. Em sua construção pode-se enfatizar a um ou outro desses elementos (TRENTIN e FREITAS, 2010).

Segundo Soares Filho *et al.* (2007) uma maneira conveniente de se pensar sobre um modelo espacial consiste em imaginar uma paisagem composta por uma variedade de arranjos de elementos de paisagem, os quais representam ecossistemas ou classes de uso do solo, sobrepostas a uma grade ou matriz, sistema de representação 2D conhecido como *raster* ou matricial. Neste caso, os elementos passam a ser representados como *pixels* ou células do mesmo valor em uma única camada de informação (Figura 3).



Fonte: Soares Filho *et al.* (2007).

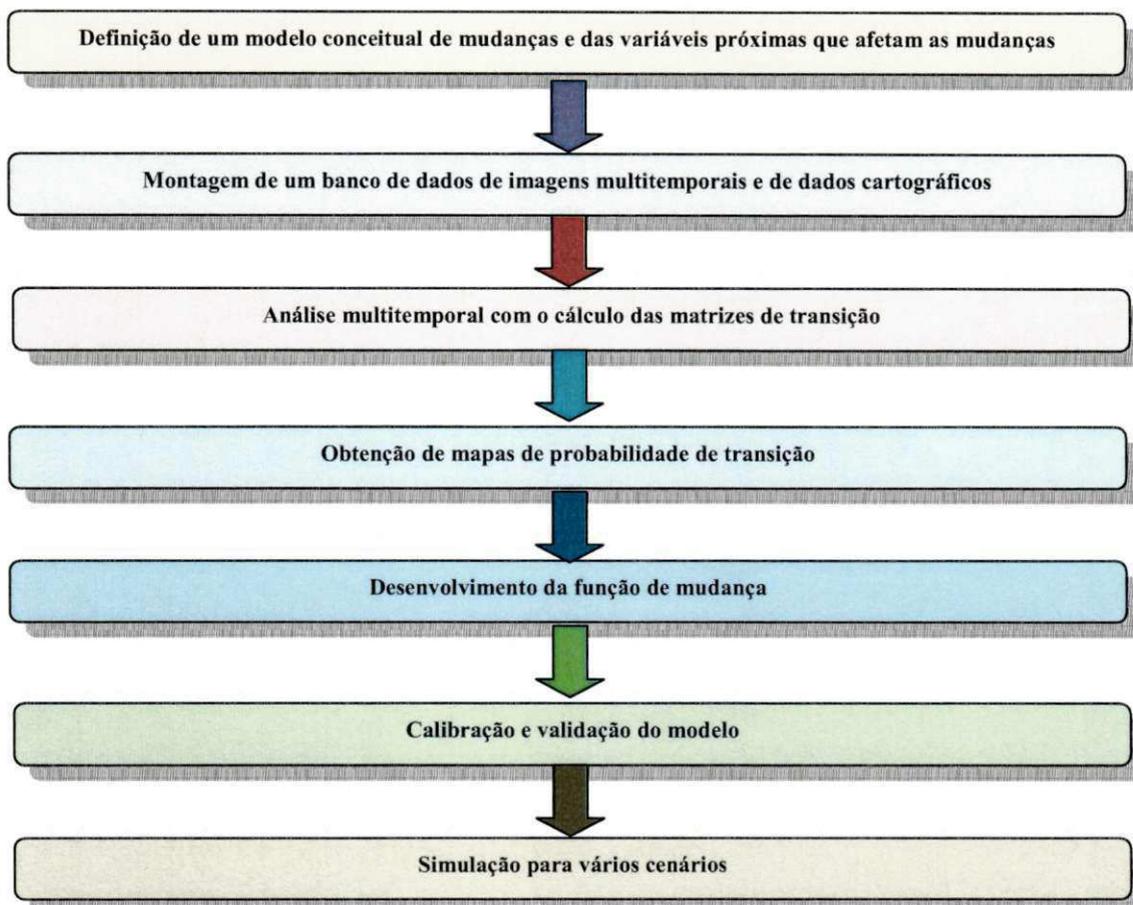
**Figura 3** Abstração da paisagem em um modelo espacial de mudanças, utilizando uma estrutura *raster*.

Wegener *et al.* (1986 *apud* Almeida, 2003) concorda que um modelo se denomina dinâmico se ele possui uma dimensão temporal explícita, se suas entradas e

saídas variam com o tempo e se seus estados dependem de estados anteriores. Na Figura 3 pode-se observar a dimensão temporal no modelo espacial de mudanças.

Burrough (1998 *apud* Trentin e Freitas (2010)) afirma que um modelo espacial dinâmico é uma representação matemática de um processo do mundo real em que uma localização na superfície terrestre muda em resposta às variações em suas forças direcionadoras.

Uma das primeiras etapas na construção de um modelo de simulação de mudanças é a definição do modelo conceitual, no qual são definidos os elementos ou estados de uma paisagem e suas possíveis transições. Na Figura 4, pode-se observar o fluxograma de um modelo de simulação de mudanças.



Fonte: Soares Filho *et al.* (2007).

**Figura 4** Fluxograma de desenvolvimento e aplicação de um modelo de simulação de mudanças.

Almeida *et al.* (2005) destaca que os modelos de dinâmicas do uso do solo urbano demonstram ser úteis para a identificação dos principais vetores de crescimento urbano e de suas tendências gerais de uso do solo, permitindo ao poder público local ordenar e redirecionar (se for o caso) o crescimento urbano, conforme a capacidade de suporte ambiental e a disponibilidade presente e futura de infra e super-estrutura<sup>1</sup>.

Nos modelos de simulação de dinâmicas urbanas, cujas funcionalidades reportam-se, sobretudo àquelas dos modelos preditivo<sup>2</sup> e operacional<sup>3</sup>, o objetivo é o de oferecer meios explícitos de exploração e visualização das consequências de estratégias alternativas para o desenvolvimento do ambiente urbano (ALMEIDA *et al.*, 2003).

De acordo com Godoy e Soares Filho (2007), o objetivo dos modelos espaciais dinâmicos é subsidiar o planejamento urbano regional, tendo em vista que a informação sobre as tendências de mudança no uso do solo é necessária para uma grande variedade de propósitos para fins de tomadas de decisão, como por exemplo, as tendências de uso do solo constituem um critério fundamental para seleção de áreas que necessitem de projetos de expansão urbana.

Almeida (2003) concorda que o objetivo da modelagem não se vincula à reprodução fiel da realidade, mas somente à verificação das principais tendências e padrões que se processam no espaço, como as mudanças de uso do solo.

Nesta perspectiva, os modelos de simulação de mudanças podem ser usados para testar as hipóteses sobre a evolução da paisagem sob vários cenários, que podem ser traduzido por diferentes quadros social-econômico, político e ambiental. Em função do

---

<sup>1</sup> Super-estrutura, constitui-se em um aparato mais sofisticado de apoio às atividades urbanas, como equipamentos educacionais e de saúde; instalações de comércio e serviços, esportivas, religiosas e de serviço público; áreas de lazer, etc (ALMEIDA, 2003).

<sup>2</sup> Modelo preditivo: é um modelo exploratório que envolve a variável tempo, compreendendo a projeção de alguns elementos básicos (ALMEIDA, 2003).

<sup>3</sup> Modelo operacional: possibilita a interferência do modelador, o qual pode introduzir fatores exógenos nos componentes do sistema e nos seus relacionamentos, de modo a alterar o seu comportamento (ALMEIDA, 2003).

resultado do modelo, uma melhor estratégia de conservação ou plano de gestão pode ser selecionada, confrontando a alternativa resultados por entradas de simulação diferentes (SOARES FILHO *et al.*, 2002).

Os prognósticos de expansão urbana fornecidos por esses modelos também se prestam a auxiliar gestores locais, como subprefeitos, administradores regionais e secretários municipais a estabelecer metas para investimentos em infraestrutura e equipamentos sociais, a exemplo do prolongamento de vias, expansão da rede de água e esgoto, criação de novas linhas de ônibus, construção de creches, escolas, hospitais, postos de saúde, etc (ALMEIDA *et al.*, 2005).

Para Rossetti *ET al.* (2011), a associação das tecnologias de sensoriamento remoto e geoprocessamento a modelos dinâmicos espaciais aplicados à análise urbana permitem avaliar de forma quantitativa a estruturação e a dinâmica do espaço urbano, proporcionando uma melhor visualização da realidade urbana e dos elementos responsáveis pelas suas transformações espaço-temporais.

Muitos pesquisadores desenvolveram estudos utilizando modelos que simulavam o crescimento ou a mudança de uso do solo (TRENTIN e FREITAS, 2010; GODOY e SOARES FILHO, 2007; COSTA, 2010; ALMEIDA, 2003).

### **1.5.1 Dinâmica EGO**

O DINAMICA<sup>4</sup> é um modelo de simulação do tipo Autômato Celular (AC) que foi projetado para ser um *software* usado em modelagem dinâmica espacial e tem sido utilizado em muitos estudos na aplicação de uma variedade de fenômenos espaciais, tais como mudança de uso do solo urbano (SOARES FILHO *et al.*, 2002; ALMEIDA, 2003; GODOY e SOARES FILHO, 2007).

---

<sup>4</sup>O *software* Dinâmica passou por uma reformulação e a nova versão do *software* é denominada Dinâmica EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*).

Autômatos Celulares são sistemas formais baseados em grades, nos quais processos de mudanças são representados célula a célula, como um simples mapeamento do estado atual de uma célula e das suas vizinhas para o estado da mesma no instante de tempo seguinte (BATTY e XIE, 1996). Um modelo de AC para uma cidade enfoca dinâmicas urbanas e pode ser usado para investigar processos de mudanças (ALMEIDA, 2003).

Os autômatos celulares (AC) são compostos por quatro elementos básicos (BATTY *et al.*, 1997):

- **Células:** são objetos do universo de modelagem que podem assumir diferentes formas (quadrada, retangular, hexagonal) e dimensões (uni, bi ou tridimensional), os quais devem manifestar algum tipo de adjacência ou proximidade entre si;
- **Estados:** atributo único (discreto) apresentado por cada célula em um intervalo de tempo considerado;
- **Vizinhança:** podem assumir diferentes formatos (vizinhança de Von Neumann; vizinhança de Moore, etc.)<sup>5</sup> e seus estados e configurações condicionarão a mudança ou a permanência dos estados atuais das células sob sua influência;
- **Regras de transição:** determinam ou não as mudanças de estado das células a cada instante de tempo (passo ou iteração). As regras são uniformes e aplicam-se indistintamente a toda célula, estado ou vizinhança. É importante salientar que toda mudança de estado é local, o que implica dizer, a princípio, que não há ação à distância.

Thapa e Murayama (2010) atentam que os modelos baseados nos princípios de AC fornecem um ambiente de modelagem dinâmica que é muito adequado ao ambiente de modelagem composto por um grande número de elementos. Os mesmos autores afirmam que o processo de mudança de uso do solo e o crescimento urbano podem ser

---

<sup>5</sup>Vizinhança de 'Moore' é a vizinhança de oito células. E a vizinhança de apenas quatro células ortogonais adjacentes é conhecida como vizinhança de 'von Neumann'

comparados com o comportamento de um autômato celular (AC) em muitos aspectos. Pode-se considerar, por exemplo, o espaço urbano como uma combinação de células, onde cada célula tem um número finito de estados possíveis que representam a dimensão da zona urbana e a evolução do estado de cada célula, em um tempo discreto, está de acordo com as regras de transição locais.

Para Rodrigues *et al.* (2007) o ambiente de modelagem do Dinâmica EGO favorece simplicidade, flexibilidade e desempenho, otimizando velocidade e recursos computacionais, como memória e uso de processamento em paralelo<sup>6</sup>.

De acordo com Soares Filho *et al.* (2002) o Dinâmica EGO pode modelar qualquer tipo e qualquer número de transição, bem como adotar qualquer extensão de tempo, dividido em qualquer número de passos de tempo e fases com taxas pré-definidas de transição. O mesmo autor afirma que o Dinâmica EGO utiliza um conjunto de mapas como entrada, correspondendo a um mapa da paisagem inicial, por exemplo, um mapa de uso da terra, um mapa do tempo de permanência de cada célula no seu estado atual e um conjunto de variáveis cartográficas, subdivididas em estáticas e dinâmicas. As variáveis cartográficas são combinadas a partir da definição de seus pesos de evidências para gerar os mapas de probabilidade de transição.

A influência da vizinhança nas probabilidades de transição é tratada no Dinâmica EGO dividindo o mecanismo de seleção de célula em dois processos. O primeiro processo é dedicado apenas à expansão ou contração de manchas<sup>7</sup> de uma determinada classe de uso do solo, é chamada de função *expander*. Por sua vez, o segundo processo projetado para gerar ou formar novas manchas através de um

---

<sup>6</sup> É um sistema de inter-conexão de vários pontos de conexão do processamento, de maneira que um processo de grande consumo, seja executado no ponto mais disponível ou mesmo subdividido por vários pontos de conexão (<http://caim.hdl.com.br/phenixcont.html>).

<sup>7</sup> Uma mancha consiste num grupo de células vizinhas de mesma categoria (Soares Filho *et al.*, 2009).

mecanismo de semeadura, esta função é chamada de *patcher* (SOARES FILHO *et al.*, 2002).

É importante ressaltar que o modelo não representa uma radiografia fiel do futuro da área e sim, tendências de crescimento e mudanças de uso do solo (GODOY e SOARES FILHO, 2007).

Mas *et al.* (2011) destaca que a Dinâmica EGO quando comparado com outros programas de modelagem dinâmica apresenta maior potencialidade e flexibilidade na interação com outras ferramentas, como a possibilidade de acoplamento com outros modelos, como por exemplo, modelos hidrológicos, econômicos, entre outros.

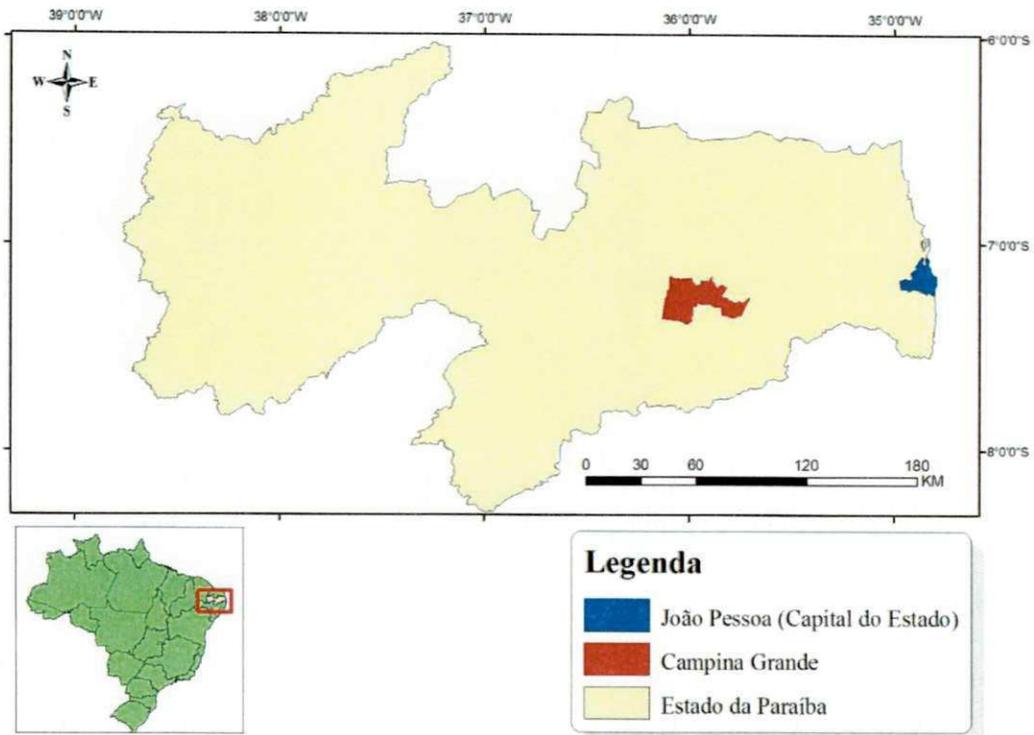
### 2.1 Área de estudo

Campina Grande está localizada no agreste do estado da Paraíba, a 7°13'32" de latitude Sul e a 35°52'38" de longitude Oeste (Figura 5). O município apresenta uma área territorial de 594,179 km<sup>2</sup>, sendo aproximadamente 96 km<sup>2</sup> os limites da zona urbana, e uma população de 385.213 habitantes, do qual 95,33% compreende a população urbana e 4,67% a população rural (IBGE, 2011).

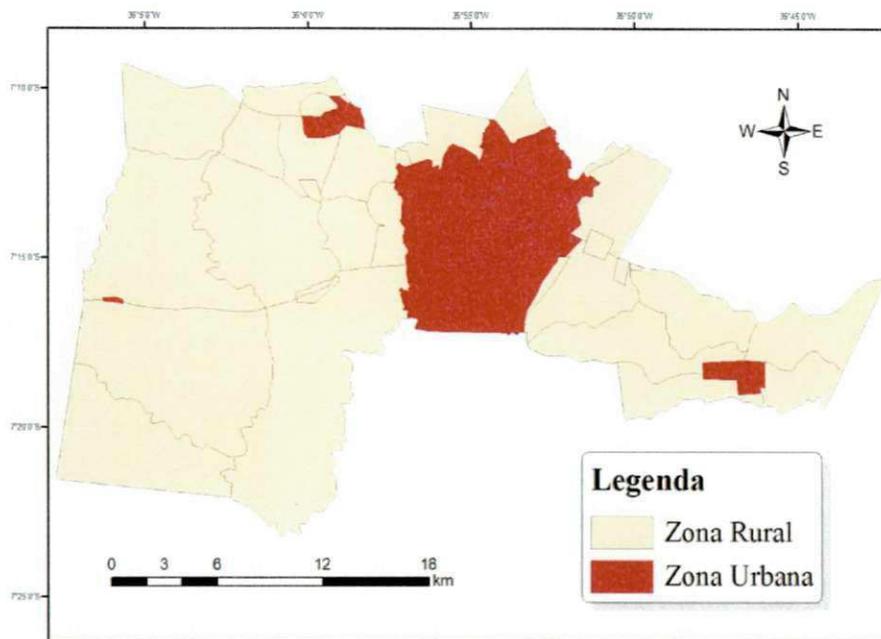
A cidade está inserida na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, apresenta um relevo forte e ondulado, com curvas de níveis variando entre 337 m e 665 m acima do nível médio do mar (CORDÃO, 2009).

Campina Grande é considerada uma das maiores e mais importantes cidades do interior do nordeste, como também é o segundo município em população do estado e exerce grande influência política e econômica sobre as cidades circunvizinhas (PEREIRA e MELO, 2008).

A área escolhida para a realização deste estudo foi o bairro do Catolé que representa uma fração da zona urbana de Campina Grande (Figuras 6 e 7). Segundo dados do IBGE (2011), o bairro apresenta uma população de 19.554 habitantes que representa 5,1% da população do município.

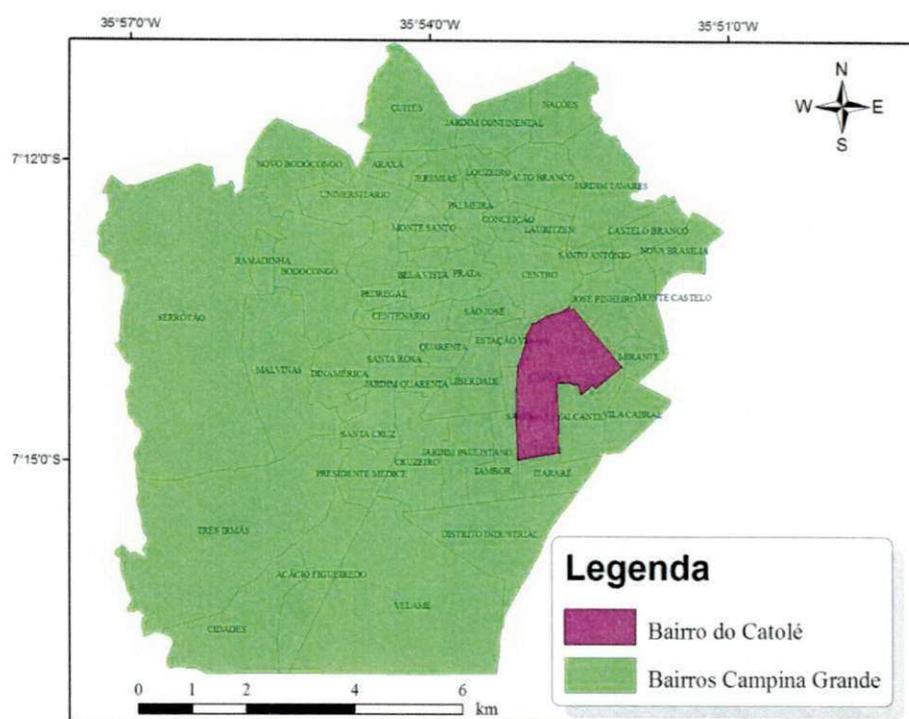


**Figura 5** Localização do município de Campina Grande – PB.



**Figura 6** Mapa de localização das zonas rural e urbana do município de Campina Grande - PB.

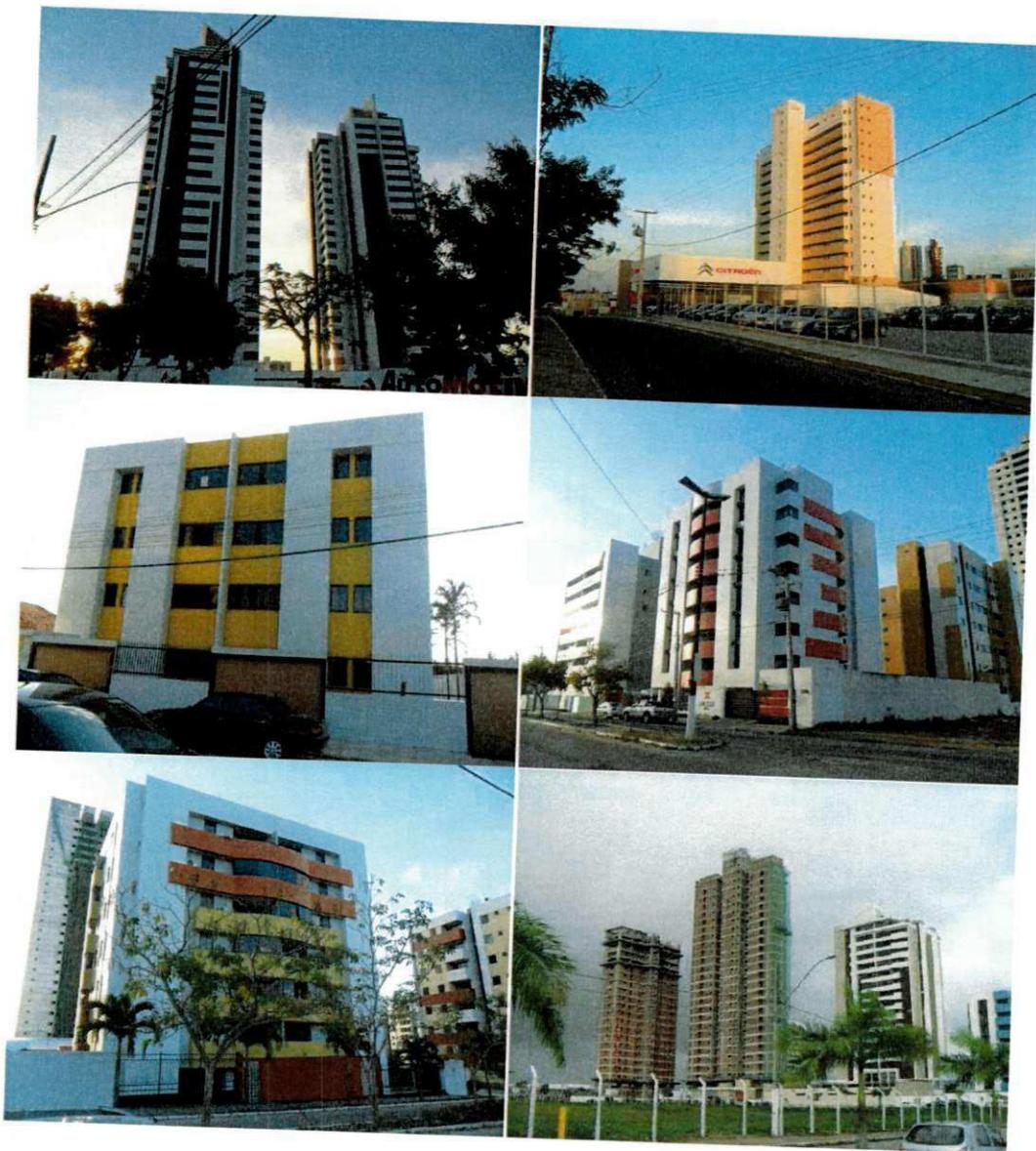
A área de estudo está localizada na região Sul da cidade e conta com uma área de 2,916 km<sup>2</sup>, aproximadamente. Apresenta um relevo plano com curvas de níveis variando entre 500 e 520 m acima do nível do mar.



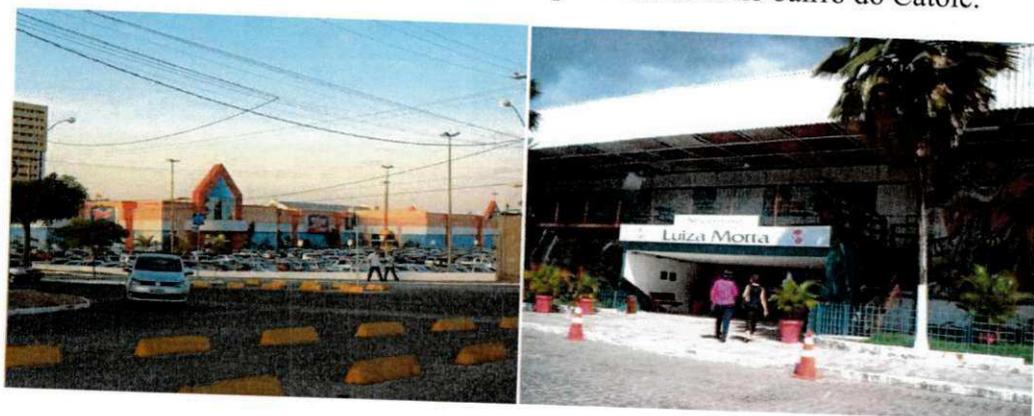
**Figura 7** Localização do bairro do Catolé, Campina Grande – PB.

Nas últimas décadas, o bairro do Catolé passou a ser considerado uma das áreas nobres da cidade de Campina Grande. Pode-se associar este fato ao grande número de empreendimentos que vem se instalando no bairro, como também maiores investimentos em infraestrutura.

O Catolé é um bairro de uso do solo misto, tendo áreas tipicamente residenciais, como edifícios de grande e médio porte da cidade (Figura 8), áreas comerciais como os principais *shoppings* da cidade (Figura 9) e muitas áreas de serviços como, por exemplo, uma das maiores escolas da cidade, unidades policiais de grande porte, parques públicos, entre outros.



**Figura 8** Edifícios de grande e médio porte situados no bairro do Catolé.

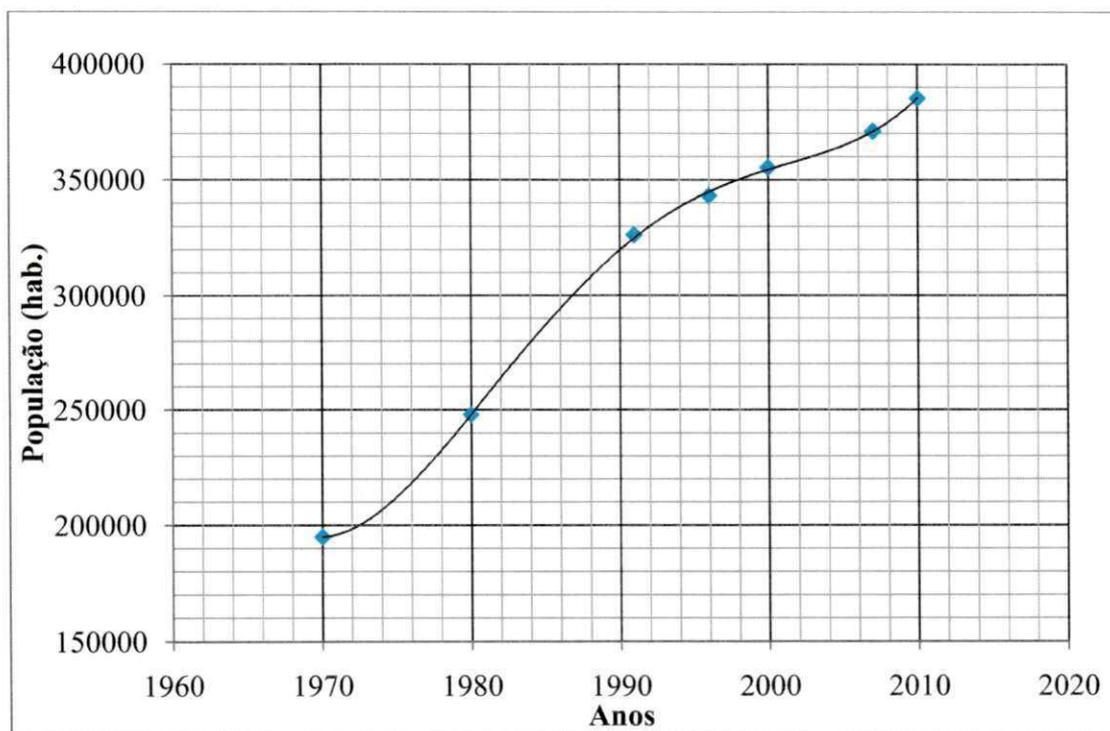


**Figura 9** Principais *shoppings* da cidade de Campina Grande - PB.

## 2.2 Expansão urbana e verticalização

Segundo Cordão (2009), nos tempos atuais, o crescimento urbano de Campina Grande tem sido marcado pela forte atratividade exercida pela sua função de pólo regional, em razão da posição geográfica estratégica de entreposto entre a Região do Cariri, o Sertão e o Litoral da Paraíba e enquanto centro universitário e tecnológico de destaque.

Na Figura 10, pode-se observar o crescimento populacional da cidade de Campina Grande nas últimas décadas. De acordo com Cordão (2009), esse aumento provocou mudanças na organização do espaço urbano e, na maioria das vezes, na ausência de um adequado planejamento.



Fonte: Elaborado com base em dados do IBGE (2011).

**Figura 10** População de Campina Grande – PB nas últimas décadas.

Segundo Araújo *et al.* (2011), Campina Grande tem apresentado um rápido e não planejado crescimento ao longo das últimas décadas. E que, nos últimos anos, o crescimento da cidade tem apresentado um caráter misto, ou seja, expansão da mancha urbana, caracterizado pelo crescimento horizontal e grande número de novos edifícios residenciais em muitas áreas da cidade, reflexo do crescimento vertical.

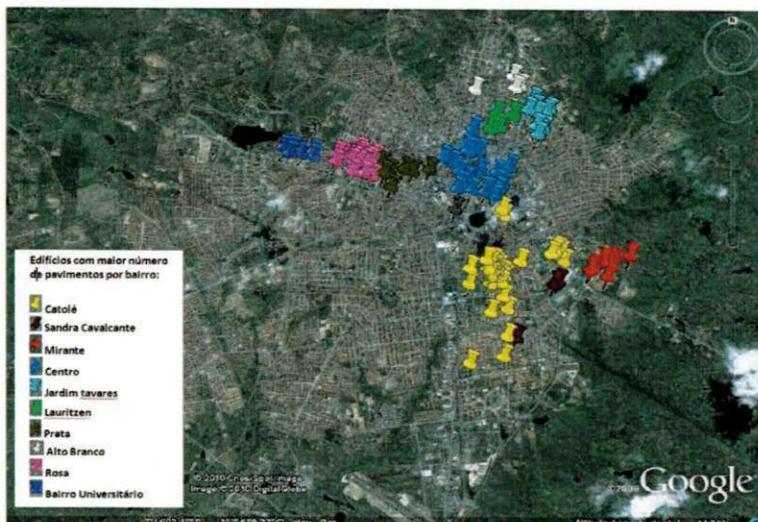
Um das áreas da cidade que apresenta um expressivo crescimento vertical é o bairro do Catolé, de acordo com Camboim e Bonates (2010) o Catolé é um dos focos de verticalização mais importantes da Zona Sul da cidade (Figura 11).

Resultados do Censo 2010, apresentados na Tabela 1, mostram que o bairro do Catolé apresenta uma densidade populacional muito superior a do município de Campina Grande: 648,31 hab/km<sup>2</sup>. Quando comparada a densidade populacional do Catolé com a de outros bairros da cidade, como por exemplo, o bairro da Prata, do Mirante e o Centro da cidade observa-se também um valor muito superior. Essa alta densidade populacional pode ser reflexo da verticalização do bairro.

**Tabela 1** Densidade populacional de alguns bairros de Campina Grande – PB.

Bairros	Densidade Populacional (hab/km <sup>2</sup> )
Católé	6766,42
Centro	2320,92
Mirante	3431,90
Prata	4635,85

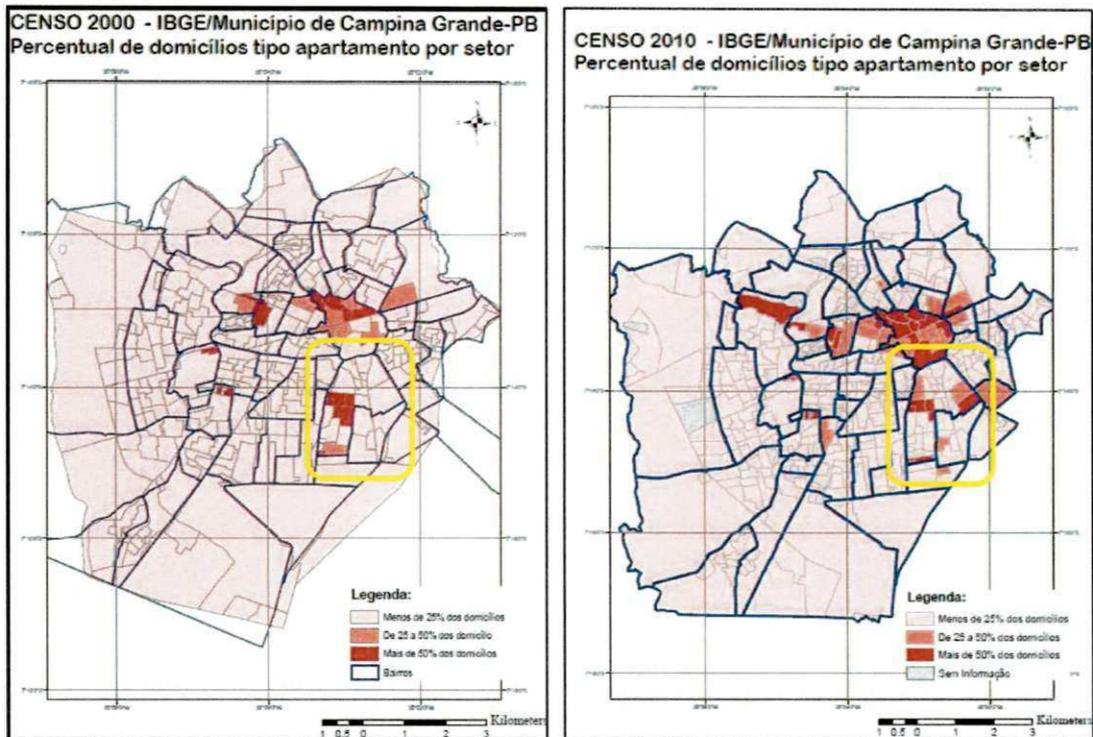
Fonte: Elaborada a partir de dados do Censo (2010).



**Figura 11** Indicação esquemática dos edifícios mais altos de Campina Grande. Adaptado de Camboim e Bonates (2010)

No bairro do Catolé podem ser encontradas edificações com características tipológicas distintas: blocos de até sete andares com apartamentos de, no máximo, 80m<sup>2</sup>, característicos do início da verticalização no bairro; e edifícios com mais de 15 andares com coberturas duplex e apartamentos luxuosos de até 280m<sup>2</sup>, localizados nas áreas próximas ao principal *shopping* da cidade (CAMBOIM e BONATES, 2010).

As Figuras 12a e 12b apresentam uma comparação entre a tipologia dos domicílios na cidade de Campina Grande entre os anos de 2000 e 2010, para os quais são utilizados os dados do Censo (IBGE).



Fonte: Elaborado a partir de dados IBGE (2011).

(a) (b)

**Figura 12** (a) Censo 2000 (b) Censo 2010: Percentual de domicílios tipo APARTAMENTO por setor censitário (destaque nos dois mapas das mudanças de tipologia no bairro do Catolé).

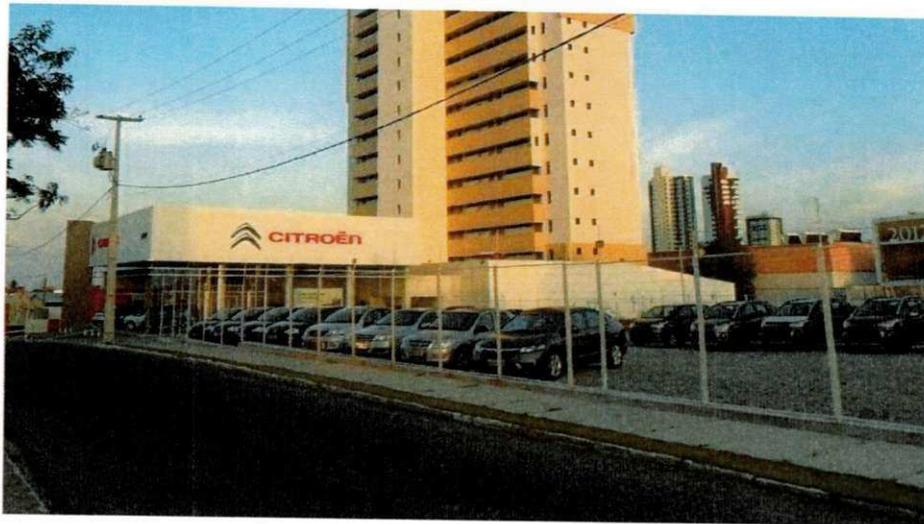
Atualmente, é possível afirmar que o Catolé é o bairro mais vertical de Campina Grande e ainda apresenta o maior número de edifícios altos em construção da cidade. Além disso, diversos edifícios residenciais com mais de vinte pavimentos estão previstos de serem construídos no bairro, dentre eles os edifícios apresentados na figura 13.

Outro fato que reflete a expansão urbana no bairro é a instalação de grandes unidades comerciais, entre elas uma grande concessionária de automóveis recém-inaugurada (Figura 14), e outra que se encontra atualmente em fase de projeto. Outro grande empreendimento que tem instalações previstas para o bairro é a sede da *Câmara de Dirigentes Lojistas* (CDL) (Figura 15), que assim como uma das concessionárias, está em fase de projeto.



**Figura 13** Edifícios de grande porte que serão construídos no bairro do Catolé.

Fonte: [www.facebook.com/brilhantefilhoarquitetos](http://www.facebook.com/brilhantefilhoarquitetos) e [campinagrande.olx.com.br](http://campinagrande.olx.com.br).



**Figura 14** Concessionária de automóveis.



Fonte: Projeto4 Arquitetos Associados.

**Figura 15** Futura sede da Fundação CDL.

Além dos diversos empreendimentos citados, existem muitos outros previstos e em fase de construção no bairro do Catolé.

### **2.3 Sistema de distribuição de água**

O sistema de abastecimento de água da cidade de Campina Grande é gerenciado pela Companhia de Água e Esgotos do estado da Paraíba (CAGEPA), sociedade de economia mista estadual. A CAGEPA é composta por uma presidência e quatro diretorias, as quais são divididas em gerências.

A gerência responsável pela operação do Sistema de Abastecimento de Água de Campina Grande é a Gerência Regional da Borborema, que tem sede na mesma cidade.

O manancial que atende o Sistema de Abastecimento de Campina Grande é o Açude Epitácio Pessoa (mais conhecido como Açude de Boqueirão). Situado na cidade paraibana de Boqueirão de Cabaceiras, localizada a aproximadamente 45 km de Campina Grande. O manancial apresenta um volume máximo de acumulação igual a 411.686.287 m<sup>3</sup> (AESAs, 2011).

Após ser captada, a água segue para a Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada em Gravatá (município de Queimadas - PB) através das duas adutoras de água bruta com diâmetros DN 900 e 800 mm, ambas em aço e com aproximadamente 22 km de comprimento. A ETA de Gravatá conta com uma capacidade de tratamento de 1.500 l/s (MENEZES, 2011).

Depois de tratada, a água é recalçada para os dois principais reservatórios da cidade de Campina Grande, denominados R09 e R05, com capacidade de armazenamento de 29.000 m<sup>3</sup> e 8.000 m<sup>3</sup>, respectivamente. Três adutoras são responsáveis pelo recalque, a de 500 mm e a de 800 mm aduzem diretamente para o R09 e a adutora de 700 mm aduz parte da água para o R09 e parte para o R05.

O sistema de abastecimento de água de Campina Grande, além de atender a zona urbana da cidade e seus distritos também abastece outras localidades (Tabela 2), algumas vezes, com derivações diretamente das adutoras; outras vezes com derivações da própria rede de distribuição de água.

**Tabela 2** Localidades atendidas pelo Sistema de Abastecimento de Água de Campina Grande.

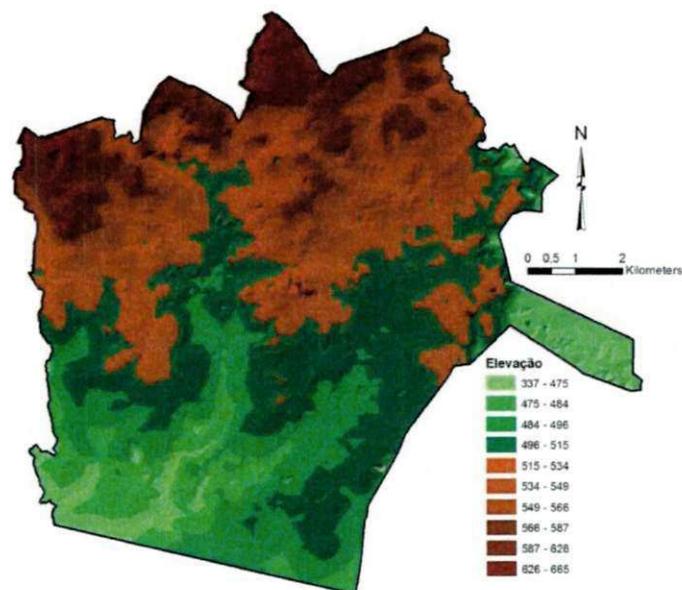
Localidade	População (hab.)		Número de ligações de água (nov/2010)	Percentual de micromedição (%)
	Urbana	Rural		
Campina Grande	367.278	17.998	116.835	88,80
Alagoa Nova	9.922	9.797	2.781	51,74
Barra de Santana	4.059	731	313	70,00
Caturité	1.025	3.521	655	80,09
Galante	Incluído em Campina Grande.		2.338	64,76
Lagoa Seca	10.585	15.326	3.330	60,45
Matinhas	682	3.634	226	95,58
Pocinhos	9.615	7.404	3.348	82,14
Queimadas	22.249	18.805	8.595	71,13
São Sebastião da Lagoa de Roça	4.659	6.382	1.519	51,88
<b>Total</b>	<b>430.074</b>	<b>83.598</b>	<b>139.940</b>	

Fonte: Adaptado de Menezes (2011).

### 2.3.1 Rede de distribuição

Segundo a ACQUAPLAN (1980*apud* Menezes (2011)), um fator condicionante para a concepção do sistema de distribuição de Campina Grande foi a topografia da área a ser abastecida. O que se verificou foi um relevo acidentado, marcado, de forma acentuada, pelos sulcos correspondentes aos talwegues de dois riachos (Depuradora e

Bodocongó) que, paralelamente e num sentido quase que norte/sul, cortam toda a área, de tal maneira que as zonas mais altas ocupam o norte da cidade, enquanto que ao sul e sudoeste se localizam as zonas de cotas mais baixas (Figura 16).



Fonte: Cordão (2009).

### Figura

**Figura 16** Representação do relevo da cidade de Campina Grande, PB através de Modelo Numérico de Terreno em TIN (Triangular Irregular Network).

Devido ao relevo movimentado, o projeto da rede de distribuição de água de Campina Grande foi dividido em quatro zonas de pressão denominadas A, B, C e D, onde as zonas A e D são atendidas pelo reservatório R09 e as zonas B e C são atendidas pelo reservatório R05 (MENEZES, 2011). Na Tabela 3 podem ser observadas as localidades que correspondem a cada zona de pressão.

**Tabela 3** Zonas de pressão do Sistema de Abastecimento de Água de Campina Grande.

ZONA	PRINCIPAIS BAIRROS	NÚMERO DE ECONOMIAS <sup>8</sup>
A	Quarenta, Liberdade, Cruzeiro, Santa Rosa, Jardim Paulistano, <b>Catolé</b> , Mirante, José Pinheiro, Malvinas, Presidente Médici e Distrito Industrial.	75.345
B e C	Centro, Santo Antonio, São José, Prata, Centenário, Alto Branco, Juracy Palhano, Nações, Cuités, Palmeira, Prata, Monte Santo, Conjunto dos Professores, o distrito de Jenipapo e cidades de Lagoa Seca, Alagoa Nova, São Sebastião de lagoa de Roça e Matinhas.	50.445
D	Jeremias, Bodocongó, São Januário, Severino Cabral, Lagoa de Dentro, São José da Mata, zona rural de São José da Mata e a cidade de Pocinhos.	16.904
<b>Total</b>		<b>130.839</b>

Fonte: Adaptado de Menezes (2011).

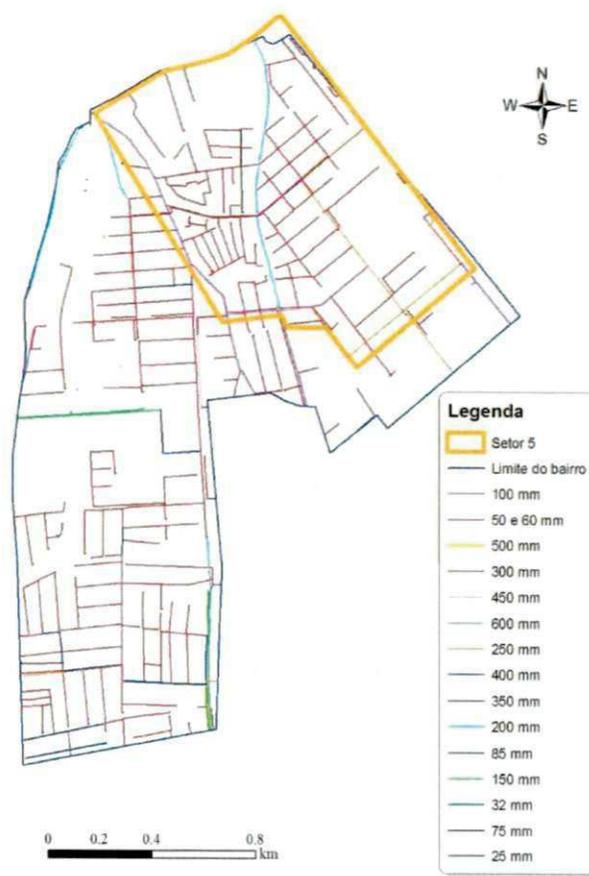
Segundo especialistas da CAGEPA, a rede de distribuição de água de Campina Grande apresenta um comprimento total de aproximadamente 1.412.869,64 m, sendo o material da tubulação mais antiga de cimento amianto e ferro fundido e os trechos mais novos de PVC (Poli Cloreto de Vinila).

A área utilizada para realização deste estudo está localizada na zona de pressão A e é abastecida pelo reservatório R09. Segundo a CAGEPA (2011), a rede de distribuição que atende o bairro do Catolé apresenta diâmetros variando entre 25 e 600 mm e não existe reservatório inserido nos limites do bairro do Catolé.

Na Figura 17 pode-se observar a rede de distribuição principal do bairro do Catolé, com destaque para área que representa o setor 5 do Sistema de Distribuição de Água de Campina Grande. Este setor será usado na validação da estimativa da demanda de água do bairro do Catolé.

Observando a rede de distribuição de água do bairro do Catolé é possível notar a grande quantidade de tubulações com diâmetros de 50 e 60 mm, fato que pode comprometer o atendimento da demanda de água caso essas áreas venham a se verticalizar.

<sup>8</sup> Pontos de consumo de água faturados (MENEZES, 2011).



Fonte: CAGEPA (2011).

**Figura 17** Rede de distribuição de água (simplificada) do bairro do Catolé: predominância dos diâmetros de 50 e 60 mm. Destaque para o setor 5 do SDACG.

De acordo com Menezes (2011), na última década, o crescimento da cidade de Campina Grande e conseqüentemente da demanda de água, são refletidos nos altos índices da construção civil, principalmente na implantação de condomínios verticais e mais recentemente, os horizontais. E como já citado anteriormente, o bairro do Catolé apresenta uma forte tendência de verticalização devido ao fato de ter se tornado um dos bairros nobres da cidade, no qual a especulação imobiliária consegue atrair investimentos em imóveis de alto e médio padrão.

### 3.1 Considerações Iniciais

A fim de dar suporte aos estudos sobre crescimento da demanda de água na cidade de Campina Grande, especialmente no tocante à verticalização, e, avaliar seus impactos na rede de distribuição de água, este trabalho se baseou nas seguintes etapas:

- *Coleta e processamento dos dados da área de estudo*
- *Modelagem espacial do uso e ocupação do solo urbano*
- *Modelagem espacial da demanda de água da área de estudo*
- *Validação dos dados de demanda de água*

Na Figura 18 é apresentado o diagrama esquemático com as etapas metodológicas desta pesquisa.

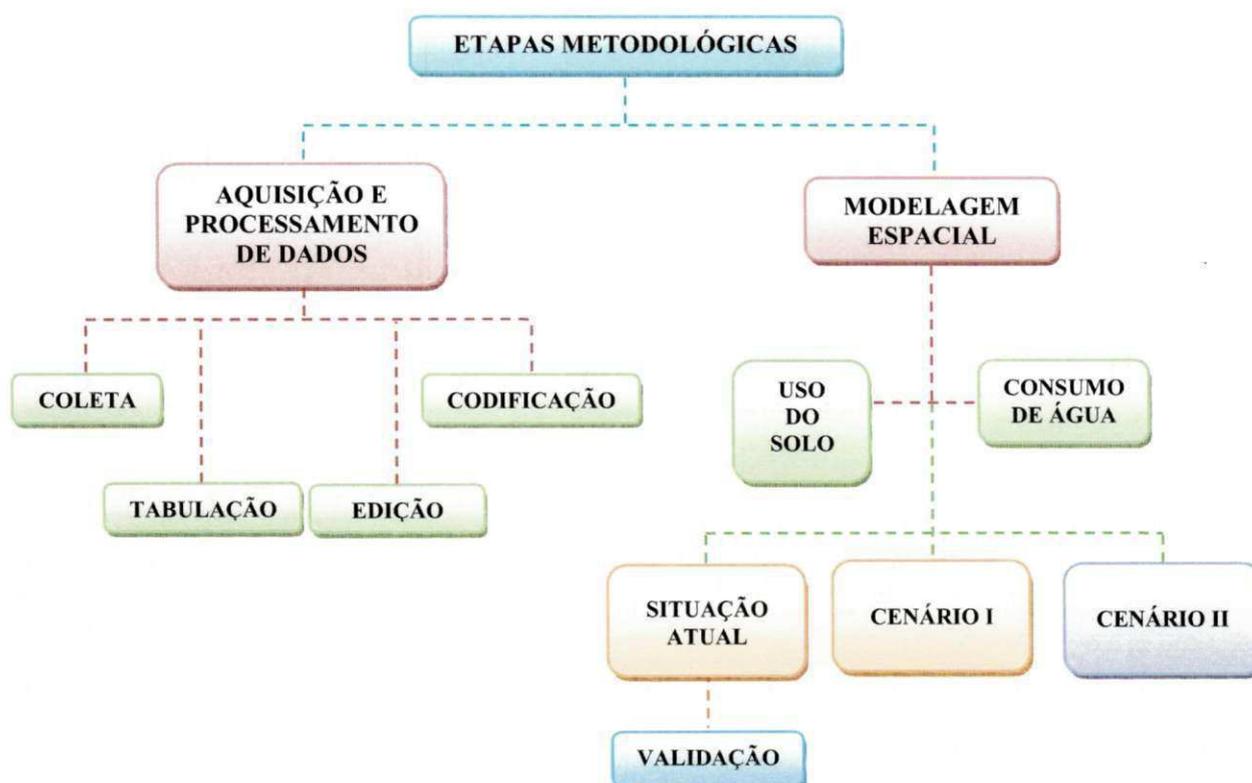


Figura 18 Diagrama esquemático das etapas metodológicas.

### **3.2 Aquisição e Processamento dos Dados**

Nesta etapa metodológica todos os dados utilizados na pesquisa foram coletados e agrupados, assim como, foram realizadas consultas a publicações, que apresentavam informações essenciais para o desenvolvimento do trabalho, como por exemplo, sobre a demanda de água de alguns estabelecimentos. Também foram realizadas consultas a instituições públicas e privadas, aos especialistas na área, entre outros.

Após a coleta dos dados da pesquisa, os mesmos foram sistematizados para permitir uma análise estruturada de todas as informações envolvidas e permitir um melhor gerenciamento do grande volume de dados coletados.

A aquisição e preparação dos dados é, certamente, uma das etapas mais importantes no desenvolvimento de uma pesquisa, de forma especial, quando se utiliza SIG para a resolução dos problemas, pois a qualidade dos dados de entrada em um modelo ou SIG está diretamente relacionada com as respostas obtidas.

No caso desta pesquisa, a consistência dos dados de entrada é fundamental para a obtenção de resultados confiáveis do ponto de vista prático. Seguindo essa premissa, definiu-se o levantamento de campo de toda a área de estudo, como uma etapa indispensável para o desenvolvimento da pesquisa.

#### ***3.2.1 Coleta de dados institucionais***

Na etapa de coleta dos dados da pesquisa, o primeiro passo é a definição de quais instituições poderiam disponibilizar os dados referentes à área de interesse. Também foram planejadas as visitas de campo durante a coleta de dados na área de estudo.

As instituições consultadas como fonte de informações sobre a cidade de Campina Grande e do bairro do Catolé foram: a Prefeitura Municipal de Campina

Grande (PMCG), de forma especial o setor de Cadastro Imobiliário; a Companhia de Água e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA); e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Na PMCG foram adquiridos dados do tipo espacial referentes ao limite do bairro em estudo e os mapas das quadras do bairro do Catolé, com delimitação dos lotes internos às mesmas. Esse dado foi de grande importância no levantamento de campo realizado, pois a estimativa da demanda de água do bairro foi feita na escala de lote.

Na CAGEPA foram coletados dados correspondentes a rede de distribuição de água do bairro do Catolé e algumas informações do sistema de abastecimento de água. Os dados disponibilizados da rede de distribuição de água da área de estudo foram: *capacidade e dimensões* do reservatório que atende a área de estudo (R09), o *traçado* da rede juntamente com as informações de *diâmetro, comprimento e material* dos trechos e *número de economias* de um determinado setor inserido dentro da área de estudo.

No IBGE foram adquiridos principalmente dados de população do bairro do Catolé e da cidade de Campina Grande. Foram também adquiridos dados do tipo: densidade demográfica, número total de domicílios, número de domicílios do tipo apartamento, entre outros. Todos os dados do IBGE são disponibilizados de forma agregada por setores censitários.

Finalizada a coleta de todos os dados fornecidos pelas instituições citadas, deu-se início a etapa de coleta de dados em campo. Ressalta-se que esta foi uma das etapas mais longas da pesquisa, pois foi percorrido todo o bairro e foram coletadas informações de todos os lotes do bairro do Catolé.

### ***3.2.2 Coleta de dados em campo***

No que se refere ao planejamento de cidades é clara a importância do conhecimento da área e os fenômenos que ali ocorrem, dando subsídios para possíveis soluções a diversos problemas; é preciso conhecer o meio para então planejá-lo (CAVALCANTE *et al*, 2007).

Com base nessa premissa e na necessidade de se obter dados reais de uso do solo em estudos dessa natureza, foi realizado um levantamento de campo em todo o bairro do Catolé, com o objetivo de obter dados confiáveis para a criação de um banco de dados com informações de uso e ocupação do solo do bairro.

Um dos fatores que motivaram a realização da coleta dos dados de campo foi a condição atual do bairro do Catolé. Como já citado anteriormente, na última década o Catolé apresentou um considerável crescimento urbano, especialmente no tocante a verticalização.

Devido a grande variedade de informações a serem coletadas nas visitas de campo, foi necessária uma sistematização para otimizar a coleta. Planilhas de dados foram elaboradas bem como o mapa do bairro foi impresso em partes menores, de forma que a entrada dos dados observados em campo ficasse facilitada. Na Tabela 4 pode-se observar a planilha elaborada para a coleta de dados em campo.

**Tabela 4** Planilha utilizada no levantamento de campo dos dados de uso do solo.

ID	Uso do solo					Situação atual	Nº de unidades por pavimento	Nº de pavimentos	Nº da quadra	Nº do lote	Observações
	Residencial	Comercial	Serviço	Industrial	Sem Uso						
0001											
0002											
0003											
0004											
0005											
0006											
0007											
0008											
0009											
0010											
0011											
0012											
0013											
0014											

Os dados coletados em campo (e apresentados na Tabela4) são descritos a seguir:

**Código identificador (ID):** é o código que identifica cada registro da tabela, ou seja, cada lote pesquisado tem um único *ID*, este item tem grande importância na etapa de junção dos dados espaciais (mapas obtidos junto à Prefeitura Municipal) com os dados alfanuméricos (coletados em campo), pois o *ID* funcionará como *chave* de ligação dos dados no SIG;

**Uso do solo:** refere-se a forma que o solo é utilizado pelo homem, ou seja, o uso dado ao solo. Neste trabalho, os tipos de uso considerados foram: *residencial, comercial, serviço, industrial, uso misto e sem uso*, onde se considerou que o uso do solo era *misto*

quando no mesmo lote se encontrava dois usos do solo simultaneamente, como por exemplo, uso do solo *residencial* e *comercial*.

**Situação atual:** este campo mostra qual a situação de ocupação do lote no momento da pesquisa e foi dividido em: *existente*, *em construção*, *desocupado* e *irregular*. Este campo foi utilizado na definição da situação atual e do cenário I (futuro de curto prazo) de uso do solo;

**Número de pavimentos:** determina o número de pavimentos de cada edificação. Este item foi utilizado na estimativa da demanda de água no caso de unidades verticais;

**Número de unidades por pavimento:** define o número de imóveis por pavimento. Este item também foi determinante na estimativa da demanda de água das unidades verticais;

**Número do lote e número da quadra:** estes itens foram utilizados na conferência dos dados e na localização do lote.

**Observações:** campo destinado a informações complementares como, por exemplo, lote ocupado por duas ou mais edificações no mesmo pavimento.

Os dados de uso do solo coletados em campo foram utilizados na obtenção da situação atual do bairro e na geração dos cenários I (futuro de curto prazo) e II (futuro de longo prazo) de uso do solo, como também o cálculo da estimativa da demanda de água. Neste trabalho considerou-se curto prazo um horizonte de tempo igual a cinco anos ( $t= 5$  anos) e longo prazo igual a dez anos ( $t= 10$  anos).

Este tipo de dado geralmente é de difícil obtenção, pois a dinâmica do solo urbano é enorme e as prefeituras não conseguem disponibilizar a contento tais mapeamentos para a sociedade.

Nesta etapa, foram percorridas todas as avenidas, ruas e travessas da área de estudo. Cabe destacar também que foram cadastrados cerca de quatro mil e quinhentos lotes (4.500), todos com informações referentes ao uso e a ocupação do solo, ao tipo de uso

do solo, à condição de horizontalidade ou verticalização dentre outras informações. Esses dados se tornaram uma planilha de atributos referente a cada lote que foi tabulada e em uma etapa seguinte foi associada aos dados espaciais.

### **3.2.3 Tabulação dos dados**

A tabulação dos dados consistiu na digitalização dos dados provenientes da coleta de campo e armazenamento dessas informações em planilhas eletrônicas de forma otimizada. No caso desta pesquisa, o volume de dados a ser digitalizado foi muito grande, cerca de cinco mil registros.

Como apresentado no formulário de levantamento de campo, os dados foram coletados por rua, através de observação visual e, em alguns casos, consultas aos moradores e/ou trabalhadores dos imóveis observados.

Inicialmente, os dados foram tabulados por rua, ou seja, para cada rua do bairro foi gerada uma planilha única de dados. Finalizado o processo de digitalização dos dados coletados em campo, em planilhas referentes a cada rua, procedeu-se a união de todas as planilhas a fim de gerar uma única planilha resultante que reunisse todas as informações referentes a todos os lotes do bairro do Catolé.

### **3.2.4 Edição dos dados espaciais**

A edição de todos os dados espaciais deste trabalho, tanto dos dados coletados em campo quanto dos dados fornecidos pelas instituições citadas, consistiu da compatibilização dos dados advindo das diversas mídias, com diferentes formatos.

Inicialmente todos os mapas das quadras, pertencentes ao bairro do Catolé, que se encontravam em arquivos com extensão *.dwg/.dxf* compatíveis com o formato *CAD* (Computer Aided Design) foram editados de forma a obter-se polígonos *fechados* como

também foi necessária a exclusão de diversos polígonos que estavam duplicados. Esta duplicidade necessita ser removida para evitar inconsistências no banco de dados espaciais.

Com os dados espaciais concluídos, partiu-se para etapa de edição dos dados alfanuméricos. É importante destacar que os dados alfanuméricos correspondem aos dados coletados em campo.

### **3.2.5 Codificação**

Após as etapas de tabulação dos dados coletados em campo e edição dos dados espaciais, partiu-se para a etapa de codificação, ou seja, criação de uma “chave” de ligação entre os dados espaciais e os dados alfanuméricos.

Primeiramente, elaborou-se um código identificador (ID) para os dados alfanuméricos contidos na planilha gerada na etapa de tabulação. E como se tratava de quase cinco mil atributos, o ID foi criado utilizando quatro dígitos. É importante destacar que, apesar do ID ter sido um dos itens da tabela dos dados coletados em campo, foi necessária a elaboração de um novo ID, pois o primeiro foi coletado por rua, e necessitava-se um ID único para cada lote da área de estudo.

Com todos os dados alfanuméricos codificados, partiu-se para a etapa de codificação dos dados espaciais, que foi realizada no SIG

As três últimas etapas descritas (tabulação, edição e codificação) foram realizadas manualmente, isto porque se tratava da criação de um novo arquivo *shapefile* (ou *shape*). O *shapefile* é uma nova estrutura não topológica de dados que armazena a geometria e a informação de atributo para características geográficas em um conjunto de dados (TIBÚRCIO, 2006). Os dados disponíveis neste momento da pesquisa eram originários de diversas fontes, por isso foi necessária a criação da *shapefile* com os

dados espaciais e seus respectivos dados alfanuméricos a fim de modelar e analisar estes dados no SIG.

Na Figura 19, pode-se observar um exemplo de como ficou a tabela de ligação com os dados espaciais.

ID	Uso do solo	Nº de par.	Nº de unidades par.	Situação	Nº do lote	Nº da quadra	Nome da Rua	Tipo	Comentários
1	Residencial	4	7	Existente	246	1245	Aldérico P. de Oliveira	Apartamento	
2	Residencial	2	1	Existente	237	1234	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
3	Residencial	1	1	Existente	247	1234	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
4	Residencial	1	1	Existente	257	1234	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
5	Residencial	2	1	Existente	270	1245	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
6	Residencial	1	1	Em construção	327	1234	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
7	Residencial	1	1	Existente	286	1245	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
10	Residencial	2	2	Existente	283	1234	Aldérico P. de Oliveira	Casa	2 casas
11	Residencial	1	1	Existente	290	1245	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
12	Residencial	1	1	Existente	325	1234	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
13	Residencial	1	1	Existente	306	1245	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
14	Residencial	1	1	Existente	307	1234	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
15	Residencial	1	1	Em construção	316	1245	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
16	Residencial	1	1	Existente	355	1234	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
17	Residencial	1	1	Existente	326	1245	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
18	Residencial	1	1	Existente		1234	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
19	Residencial	1	1	Existente		1245	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
20	Residencial	1	1	Existente	347	1234	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
21	Residencial	1	1	Existente	346	1245	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
22	Residencial	1	1	Existente	357	1234	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
23	Residencial	1	1	Existente	356	1245	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
24	Residencial	1	1	Existente	367	1234	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
25	Residencial	1	1	Existente	366	1245	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
26	Residencial	1	1	Existente	377	1234	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
27	Residencial	1	1	Existente	376	1245	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
28	Residencial	1	1	Existente	387	1234	Aldérico P. de Oliveira	Casa	
29	Residencial	1	1	Existente	386	1245	Aldérico P. de Oliveira	Casa	

**Figura 19** Tabela de dados alfanuméricos.

### 3.3 Modelagem Espacial

Segundo Cordão (2009), a modelagem espacial pode ser considerada como uma simulação da implementação no SIG utilizado com todas as operações que deverão ser efetuadas, bem como a representação dos planos de informação que correspondam aos resultados esperados. Através da modelagem espacial é possível identificar relações espaciais entre os dados que dificilmente seriam identificadas por simples listagem dos mesmos.

Após o tratamento adequado dos dados adquiridos em campo e nas instituições citadas iniciou-se a etapa de modelagem espacial dos dados.

### **3.3.1 Inserção de dados no SIG**

Esta etapa consiste na introdução dos dados espaciais e alfanuméricos no SIG. Os dados geográficos foram inseridos a partir do formato *.dwg/.dxf* e posteriormente foram transformados em *shapefile*.

Após a inserção dos dados espaciais no SIG, realizou-se a união dos dados espaciais com os dados alfanuméricos, que estavam originalmente em planilhas eletrônicas, através de uma função de *junção*. Esta função faz a união dos dados através da definição de uma coluna comum na tabela de atributos da *shapefile* e na tabela de dados alfanuméricos.

Nesta etapa da modelagem espacial é de fundamental importância que a quantidade de dados espaciais (lotes) coincida com a quantidade de registros (dado alfanumérico) da planilha a ser unida, pois neste caso, já foi uma primeira avaliação da qualidade da coleta dos dados de campo.

### **3.3.2 Modelagem espacial do uso do solo**

A modelagem espacial do uso do solo foi realizada para a situação atual do bairro do Catolé e para os cenários I (futuro de curto prazo), obtido a partir dos dados coletados em campo considerando o horizonte de conclusão dos edifícios em construção; e cenário II (futuro de longo prazo) gerado através da simulação da mudança de uso do solo no Dinâmica EGO.

#### **3.3.2.1 Situação atual e cenário I de uso do solo**

Na obtenção da situação atual do uso do solo e na geração do cenário I foram utilizados como dados de entrada as informações alfanuméricas coletadas nas visitas de campo.

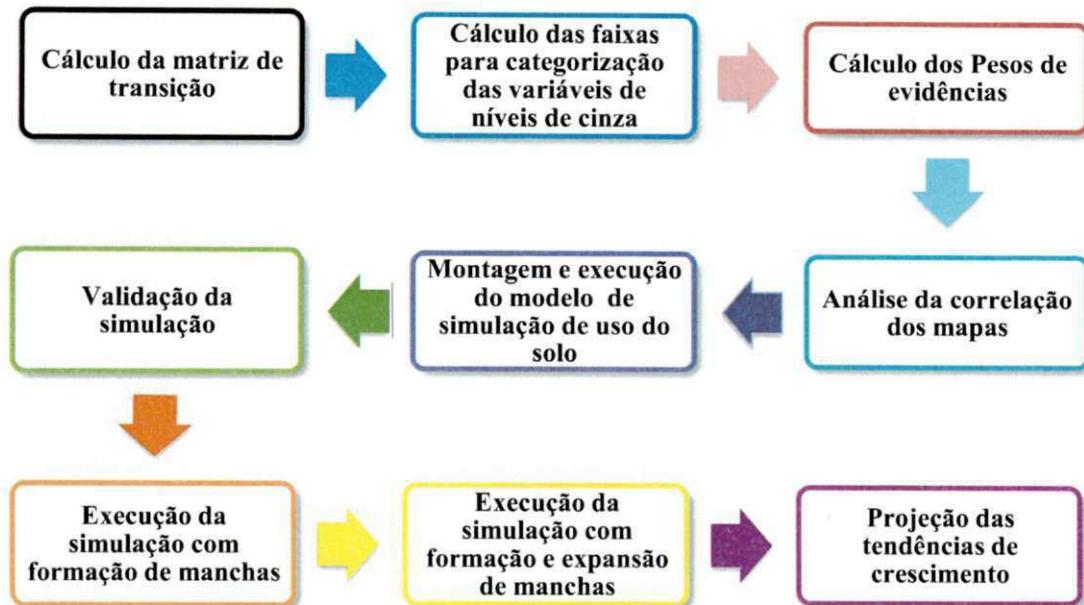
Na espacialização do uso do solo da *situação atual* e na geração do *cenário I* foram utilizados os dados de uso do solo de cada lote e a situação de ocupação que o mesmo se encontrava no momento da pesquisa (entenda-se por situação de ocupação a condição do lote, a mesma pode ser: *lote com edificação existente*, *lote com edificação em construção* e *lote desocupado*).

Para o cenário “Atual” (referente à data da coleta de dados – 2011), foram considerados todos os lotes com edificação existente e os demais lotes sem uso, ou seja, lotes desocupados. Para cada lote foi atribuído seu uso observado em campo, sendo que para o Cenário I, também foi considerado sua situação em um horizonte de 5 anos (para as edificações em construção, por exemplo).

#### 3.3.2.2 *Cenário II de uso do solo*

A modelagem espacial do uso do solo para o cenário II utilizou como dados de entrada os mapas de uso do solo gerados na modelagem espacial da “situação atual” (Condição de uso inicial) do uso do solo no bairro do Catolé e do cenário I (condição de uso após um tempo “t” = 5 anos). A simulação da dinâmica do uso do solo foi realizada no *software* de modelagem espacial Dinâmica EGO.

No presente contexto, o Dinâmica EGO foi utilizado como uma plataforma de simulação para modelos de mudanças no uso do solo. Neste estudo, a simulação foi realizada através da aplicação da metodologia apresentada na Figura20.



Fonte: Adaptado de Soares Filho *et al.* (2009).

**Figura 20** Fluxograma da metodologia utilizada na simulação da mudança de uso do solo.

Cada etapa da metodologia utilizada na simulação da mudança de uso do solo é descrita a seguir de acordo com Soares Filho *et al.*(2009) e Almeida (2003):

**Cálculo da matriz de transição:** A matriz de transição descreve um sistema que muda em intervalos discretos de tempo, nos quais o valor de qualquer variável em um dado período de tempo é a soma das porcentagens fixas dos valores de todas as variáveis do passo de tempo precedente.

**Cálculo das faixas para categorização das variáveis contínuas de cinza:** Calcula faixas para classificar variáveis expressas em escalas contínuas de cinza para derivação

dos Pesos de Evidência<sup>9</sup>. O modelo seleciona o número de intervalos e o tamanho de seus *buffers* tendo como objetivo preservar a estrutura dos dados.

**Cálculo dos Pesos de Evidência:** O método dos Pesos de Evidência é aplicado no Dinâmica EGO para produzir um mapa de probabilidades de transição, o qual representa as áreas mais favoráveis para mudança.

**Análise da correlação dos mapas:** Executa testes em pares de mapas categóricos para testar a suposição de independência. Visto que a única suposição necessária ao método de Pesos de Evidência é que os mapas de entrada devem ser espacialmente independentes.

**Montagem e execução do modelo de simulação de uso do solo:** Inserção dos *containers* e *functores* e dados de entrada do modelo. Após a montagem completa do modelo de simulação pode-se iniciar a execução do mesmo.

**Validação da simulação:** Testes de validação podem ser entendidos como procedimentos para verificar se os modelos refletem ou não a realidade no grau desejado. No caso do Dinâmica EGO, a validação foi realizada através do *Calc Reciprocal Similarity* que emprega uma função de decaimento exponencial com a distância para ponderar a distribuição do estado da célula ao redor de uma célula central.

---

<sup>9</sup>O método pesos de evidência é baseado no teorema da probabilidade condicional de Bayes, este teorema concerne a propensão para um certo tipo de uso (p.ex. uso não-urbano para residencial), posto que uma evidência (p.ex. suprimento de água), também chamada variável explicativa, já ocorreu (Almeida, 2003).

**Execução da simulação com formação de manchas:** Geração ou formação de novas manchas através do mecanismo de semeadura<sup>10</sup>.

**Execução da simulação com formação e expansão de manchas:** Processo de formação e expansão ou contração de manchas já existente de certa classe (ou uso do solo).

**Projeção das tendências de crescimento:** Geração de prognóstico de tendências de crescimento urbano.

### ***3.3.3 Estimativa do consumo de água e visualização***

A estimativa da demanda de água foi realizada para cada lote, para os dois primeiros cenários utilizando-se para tanto, dos dados coletados e da metodologia de cálculo apresentada nos anexos, a qual, foi adaptada à área. Para o cenário II (futuro de longo prazo) não foi possível realizar este nível de estimativa da demanda de água, devido a natureza dos dados que após a simulação no Dinâmica EGO resultam em matrizes de *pixels* que não permitem a identificação clara dos lotes. No entanto, para este cenário, a demanda de água foi estimada através de uma agregação do uso do solo e da taxa de consumo de água obtida através da estimativa da demanda de água da situação atual e do cenário I.

#### ***3.3.3.1 Situação atual e cenário I (futuro de curto prazo)***

A modelagem espacial da demanda de água na *situação atual* e no *cenário I* foi gerada a partir dos cenários de uso do solo atual e cenário I (futuro de curto prazo). A

---

<sup>10</sup> Semeadura: Procedimento de inserção de pontos-sementes aleatoriamente na área de estudo. A partir desses pontos-sementes são gerados *clusters* de *pixels* com valores similares.

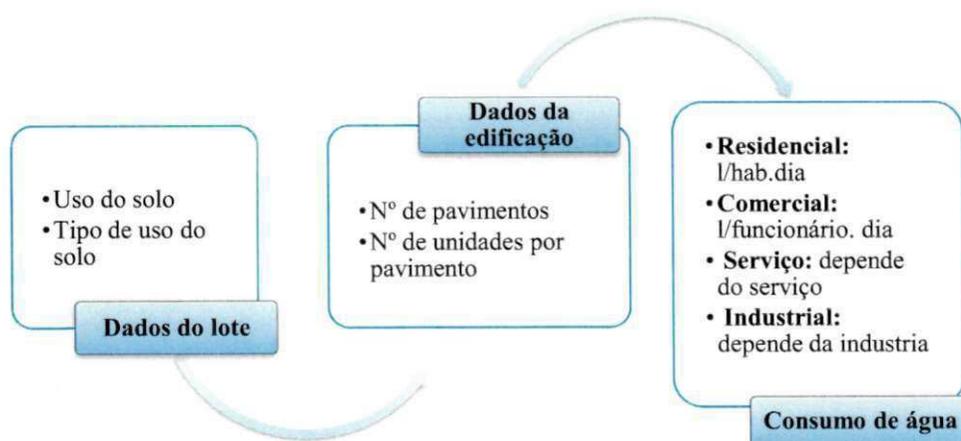
especialização da demanda de água deve identificar mais facilmente quais as áreas que apresentam um maior crescimento urbano, especialmente vertical, e por consequência um aumento de consumo de água.

A demanda, depois de estimada foi espacializada na área de estudo, pois a simples visualização deste dado já pode servir de subsídios para algumas ações de planejamento. Uma validação dos dados estimados torna-se necessária, a fim de realizar através do SIG uma modelagem espacial da demanda de água. Para tanto, algumas informações estimadas foram confrontadas com medições da CAGEPA.

A estimativa da demanda de água para área de estudo foi realizada com base nos dados de campo, consultas a especialistas, aos institutos de pesquisa e de revisão da literatura.

Como a estimativa da demanda é baseada no uso específico de cada lote, a coleta de dados contemplou também a observação das especificidades de usos como tipo de comércio, tipo de instituição, etc. (Por exemplo, uma padaria pode consumir mais água que uma loja de roupas, etc.)

A Figura 21 apresenta de forma esquemática a metodologia de estimativa da demanda utilizada.



**Figura 21** Esquema dos dados utilizados no cálculo da estimativa da demanda de água para a *situação atual* do bairro e do *cenário I*.

A unidade de estudo estabelecida é o lote, ou seja, a estimativa da demanda de água obtida a partir do método de cálculo adotado é referente a demanda de água de cada lote. Nos anexos desse trabalho são apresentadas as equações utilizadas para cada uso.

A maior parte dos dados de consumo de água utilizados para esta estimativa foi extraída das tabelas de consumo de água de Tsutyia (2006) e da SABESP (2005). Na Tabela 5 podem-se observar alguns valores de consumo de água para estabelecimentos públicos, comerciais e industriais.

**Tabela 5** Consumo de água para estabelecimentos comerciais, industriais e públicos.

<b>Estabelecimento</b>	<b>Unidade</b>	<b>Consumo de água (l/dia)</b>
Escritório	Pessoa	50
Restaurante e similares	Refeição	25
Hotel	Pessoa	120
Lavanderia	kg de roupa seca	30
Hospital	Leito	250
Cinema, teatro e templo	Lugar	2
Edifício comercial	Pessoa	50
Posto de gasolina	Funcionário	366,66
Escolas	Pessoa	50
Creches	Pessoa	50
Oficinas de reparo de automóveis	Funcionário	300
Asilos	Pessoa	150
Indústria -- uso sanitário	Operário	70
Edifício público	Pessoa	50
Jardim público	m <sup>2</sup>	1,5

Fonte: Tsutyia (2006) e SABESP (2005).

#### 4.3.3.2 Cenário II (futuro de longo prazo)

No cenário II a estimativa da demanda de água foi realizada através do produto (multiplicação) de uma taxa de consumo de água por *pixel* para cada uso do solo, determinada a partir do cenário I, com o número de *pixels* de cada uso do solo do cenário II.

O primeiro passo dessa etapa foi a obtenção da demanda de água totalizado para cada tipo de uso, a partir do cenário I. Por exemplo, para o uso do solo residencial foram somadas as demandas de água de todos os lotes do tipo *residencial* do cenário I e obteve-se a demanda de água total para o uso do solo *residencial* deste cenário.

Em seguida determinou-se no SIG a quantidade de *pixels* de cada uso do solo para o cenário I. Esta operação permitiu a obtenção de uma taxa de demanda de água por *pixel* utilizando-se a equação 1.

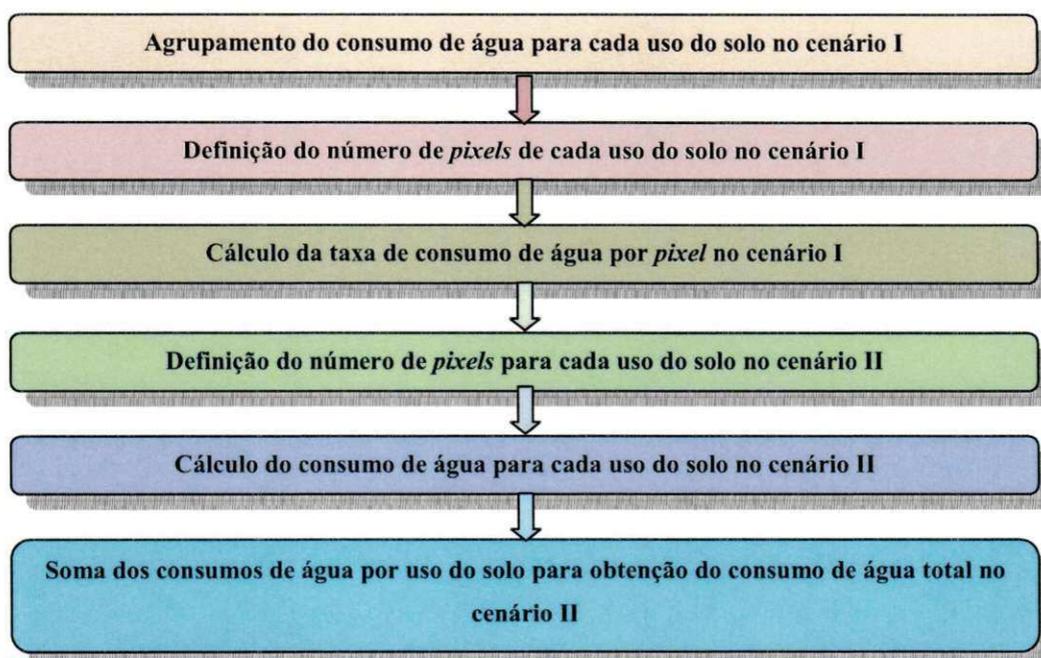
$$\text{Taxa de demanda de água por pixels} = \left( \frac{\text{Consumo de água por uso do solo}}{\text{Número de pixels por uso do solo}} \right), \frac{l}{\text{dia}} \text{Eq. 1}$$

Com a taxa de demanda de água por *pixel* para cada tipo de uso do solo e determinando-se número total de *pixels* em cada uso do solo para o cenário II foi calculada a demanda de água para cada uso do solo do cenário II através da equação 2.

$$\text{Demanda de água (Cenário II)} = \text{Consumo de água por uso do solo} \times \text{Número de pixels por uso do solo}, \frac{l}{\text{dia}} \text{Eq. 2}$$

Com os dados de demanda de água do cenário II para cada uso do solo obteve-se a demanda de água total estimada para este cenário.

Na Figura 22 pode ser observado o diagrama esquemático da metodologia aplicada à estimativa da demanda de água para o cenário II.



**Figura 22** Esquema dos dados utilizados no cálculo da estimativa da demanda de água para o cenário II.

### 3.3.4 Validação dos dados de demanda de água

Concluída a etapa de estimativa da demanda de água, iniciou-se a validação do cálculo. Cabe destacar, que a validação é uma etapa fundamental quando se aplica uma metodologia que deseja obter resultados medidos nas atividades práticas das companhias de abastecimento de água.

Neste trabalho considerou-se que o lote urbano e as economias no sistema de distribuição representavam a mesma unidade de estudo.

A validação dos dados de demanda de água foi realizada para o setor 5 do sistema<sup>11</sup>, pois é o único setor totalmente inserido na área de estudo. Essa opção foi feita devido à incompatibilidade no limite municipal do bairro do Catolé e do limite dos setores da CAGEPA que compõem a área do Catolé, apenas um dos setores da CAGEPA está completamente inserido no limite do bairro adotado pela PMCG.

<sup>11</sup> O setor 5 pode ser observado na Figura 18.

A opção por realizar a validação dos dados para apenas um setor dentro da área de estudo foi devida a limitação de dados de consumo de toda a área.

A etapa de validação dos dados iniciou-se pela escolha do setor a realizar a validação. Os critérios utilizados na escolha do setor em estudo foram:

- O setor está completamente inserido dentro da área de estudo, neste caso, dentro do limite municipal do bairro do Catolé;
- Disponibilidade de dados no setor de cadastro da CAGEPA.

Após a escolha do setor a ser validado, partiu-se para coleta de dados de consumo de água junto a CAGEPA. Os dados obtidos para a realização desta etapa foram:

- Número de economias do Sistema de Distribuição de Água de Campina Grande (SDACG) para o mês de outubro de 2009;
- Volume consumido pelo SDA de Campina Grande no mês de outubro de 2009; cabe ressaltar que as perdas estão incluídas no volume consumido;
- Número de economias do setor escolhido para um dos meses de coleta em campo.

É importante destacar que se utilizou outubro de 2009 no cálculo do consumo por economia, pois era o mês e o ano com dados de volume disponíveis.

De posse de todos os dados necessários para a validação, foram realizados os devidos cálculos do consumo de água medidos do setor:

a) Consumo de água por economia (valor medido):

$$\text{Consumo por economia (mês)} = \frac{\text{Volume distribuído}}{\text{Número de economias}}, \left( \frac{\text{m}^3}{\text{mês}} \right) \quad \text{Eq.3}$$

Como os dados estimados para demanda de água estão em l/habitante.dia é necessário realizar uma transformação de unidades antes de realizar a validação, então:

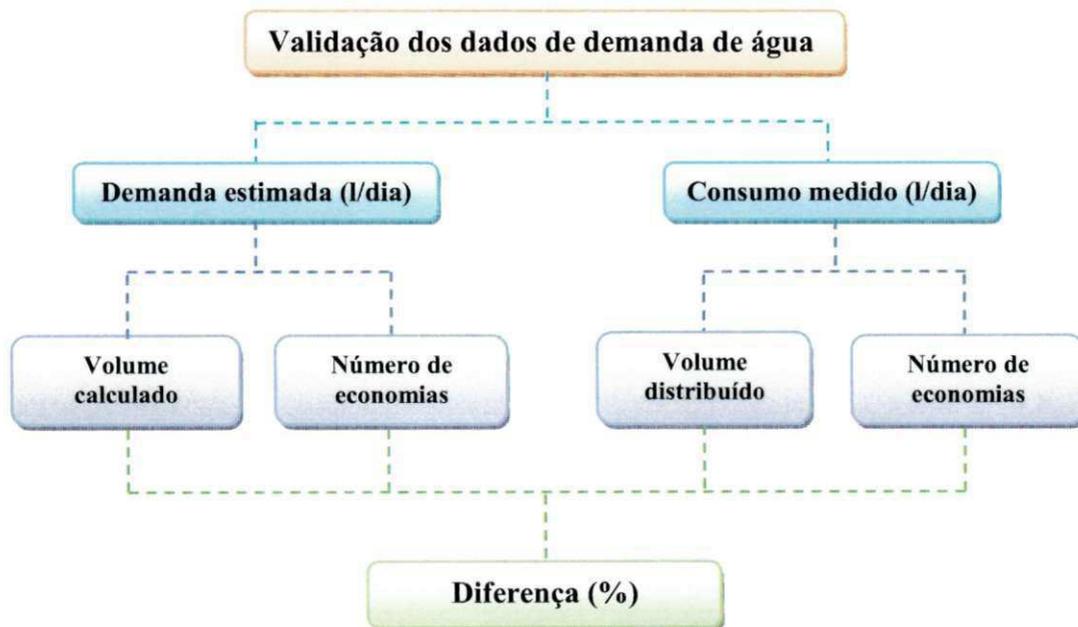
$$\text{Consumo por economia (dia)} = \frac{\text{Volume consumido} \times 1000}{30}, \left(\frac{l}{\text{dia}}\right) \text{Eq.4}$$

b) Consumo de água do setor em estudo:

$$\text{Consumo de água} = \text{Consumo por economia (dia)} \times \text{Número de economias do setor} \text{Eq.5}$$

A segunda fase da validação é o cálculo da demanda de água estimado para a área pertencente ao setor 5. Nesta etapa, foram somadas as demandas de todos os lotes inseridos no setor de forma a obter um valor de demanda de água diária para a área em questão.

Na Figura 23, é possível observar o diagrama esquemático da etapa de validação dos dados de consumo de água para a área de estudo.



**Figura 23** Diagrama esquemático da etapa de validação dos dados de demanda de água.

### 4.1 Cenários de uso do solo

O crescimento das cidades, que na maioria das vezes ocorre sem um adequado planejamento é uma preocupação constante de pesquisadores do meio urbano como também de gestores municipais e de companhias que administram os serviços de infraestrutura das cidades.

Aliada a esta preocupação está a forma com que este processo ocorre. Em geral, a ocupação do solo e a expansão das cidades acontecem de forma acelerada, causando diversos problemas, entre eles, a sobrecarga dos equipamentos urbanos.

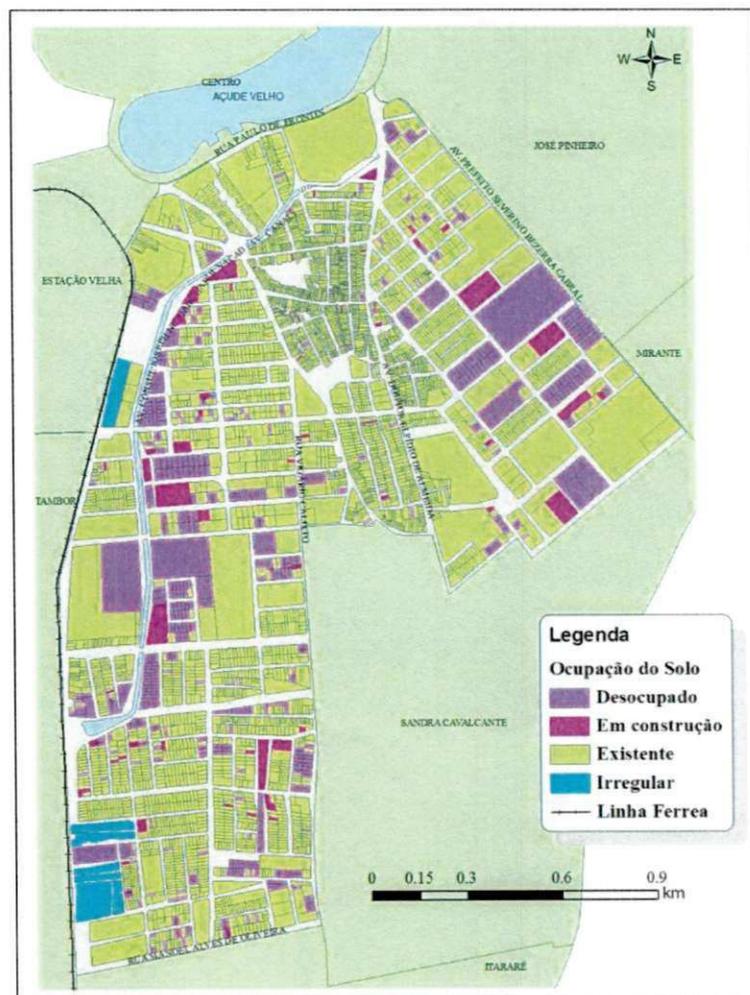
Nesta perspectiva, se destaca a sobrecarga nos sistemas de distribuição de água (SDA), estrutura urbana essencial à qualidade de vida nas cidades. Os SDA merecem uma atenção especial, pois a expansão não planejada (ou não esperada) das cidades provoca limitações tanto na capacidade da estrutura física do sistema, o diâmetro das tubulações, a capacidade dos reservatórios, como também o próprio atendimento da demanda de água dos consumidores, depende diretamente da água, um recurso cada dia mais escasso.

Estudos sobre mudança de uso e ocupação do solo estão diretamente relacionados com o aumento da demanda de água, pois o uso do solo e sua ocupação fornecem informação sobre o consumo de água e sobre a distribuição do mesmo na área interesse.

No âmbito desta pesquisa, um dos fatores mais importantes para se avaliar a dinâmica do uso do solo no bairro do Catolé, foi o conhecimento da situação que o lote se encontrava no momento da pesquisa de campo. Esta informação forneceu elementos para composição da situação atual do uso do solo e do cenário I (futuro de curto prazo).

Como já descrito na metodologia deste trabalho, o campo *situação/ocupação* indicou como o lote se encontrava no momento da pesquisa e como estaria no cenário I (futuro de curto prazo). Na Figura 24, é apresentado um mapa com a situação de ocupação dos lotes quando a pesquisa foi realizada.

É importante destacar que os lotes que apresentaram situação “*em construção*” no momento da pesquisa de campo, foram considerados como desocupados no mapa de situação atual do bairro para efeito de estimativa da demanda, haja visto que nestes lotes ainda não havia moradores consumindo água.



**Figura 24** Mapa da ocupação do solo atual do bairro do Catolé.

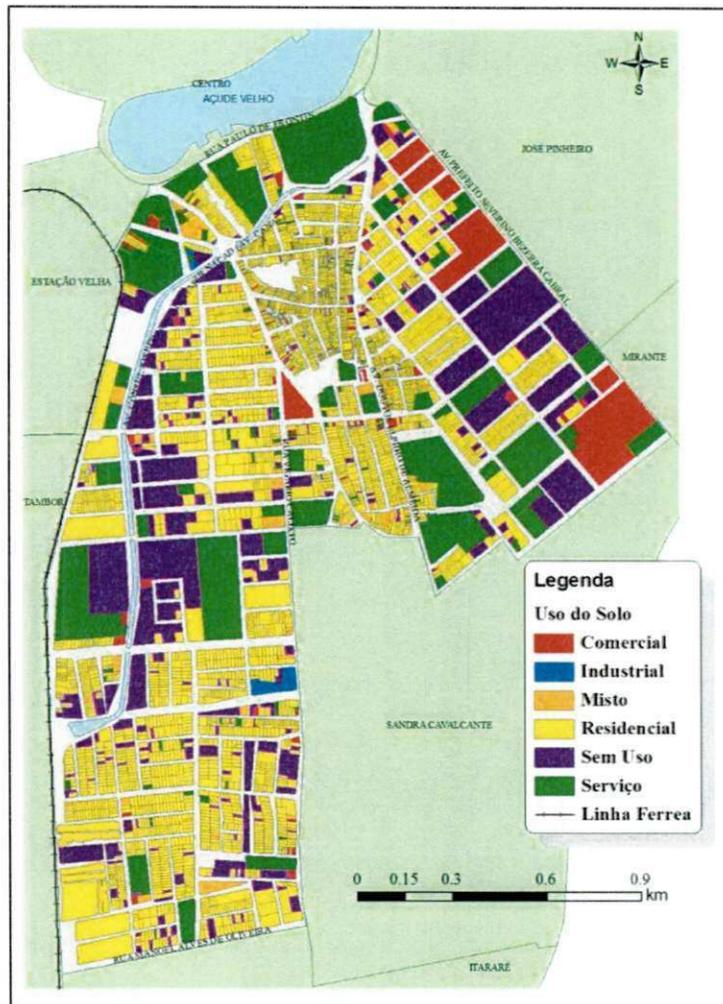
O mapa da ocupação atual dos lotes do bairro do Catolé fornece informações importantes para análises de mudança de uso do solo. É possível notar que apesar da grande quantidade de lotes com situação “*em construção*” ainda existem muitos lotes desocupados. Como o Catolé se tornou um dos bairros nobres de Campina Grande, e que segundo consultas a alguns arquitetos, tem hoje o  $m^2$  mais caro da cidade, estima-se que em um futuro não muito distante a maioria destes lotes estejam ocupados por edificações de grande porte ou por grandes empresas, tendência que se verifica atualmente no bairro.

Cabe destacar, que o mapa de ocupação atual apresentado na Figura 24 já não representa a realidade do bairro hoje (2012). Após o fim da pesquisa de campo, em meados de 2011, já se iniciaram diversas obras como também já foram anunciados diversos projetos para a área de estudo, entre eles edifícios de grande porte (alguns com quase 30 pavimentos) e a instalação de grandes empresas como, por exemplo, concessionárias de grande porte.

#### ***4.1.1 Situação atual e cenário I (futuro de curto prazo)***

Os cenários de uso do solo “atual” e futuro de curto prazo foram gerados a fim de se analisar a dinâmica do uso do solo na área de estudo. A partir da espacialização dos dados pode-se verificar que se trata de um bairro com uso do solo bem diversificado onde se encontram grandes escolas da cidade, inúmeros pontos comerciais, com destaque para os dois principais *shoppings* e as principais concessionárias da cidade.

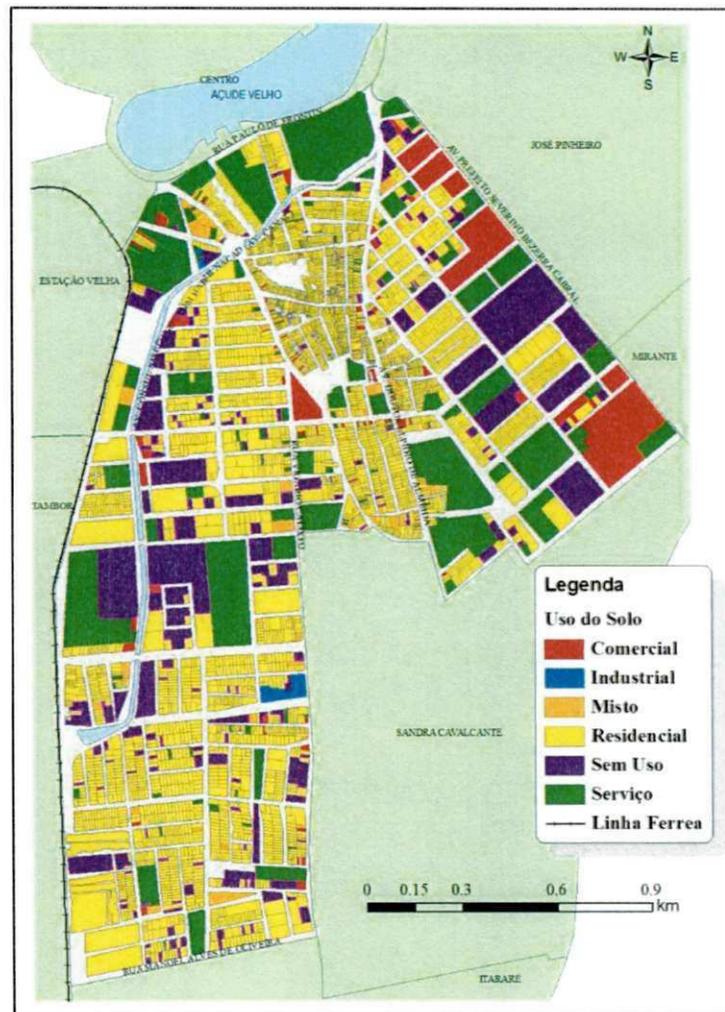
Os cenários apresentados nas Figuras 25 e 26 mostram que apesar do bairro ter uso do solo variado, existe uma predominância do uso residencial. Pode-se verificar também que a parte leste do bairro é uma área que foi e continua sendo ocupada por pontos comerciais, especialmente ao longo da Av. Prefeito Severino Cabral.



**Figura 25** Situação atual do uso do solo do bairro do Catolé.

No tocante à dinâmica do uso do solo, quando comparados os mapas da situação atual e do cenário I (Figuras 25 e 26, respectivamente) observa-se que muitas áreas que se encontravam desocupadas (ou *sem uso*) na situação atual do uso do solo passaram a ser ocupadas no cenário I (futuro de curto prazo), tendência esperada devido a super valorização da área.

Destaca-se que a maior parte das novas áreas ocupadas no cenário I são edifícios de grande e médio porte, fato que sinaliza o crescimento vertical do bairro.



**Figura 26** Cenário I (futuro de curto prazo) de uso do solo do bairro do Catolé.

#### **4.1.2 Cenário II (futuro de longo prazo)**

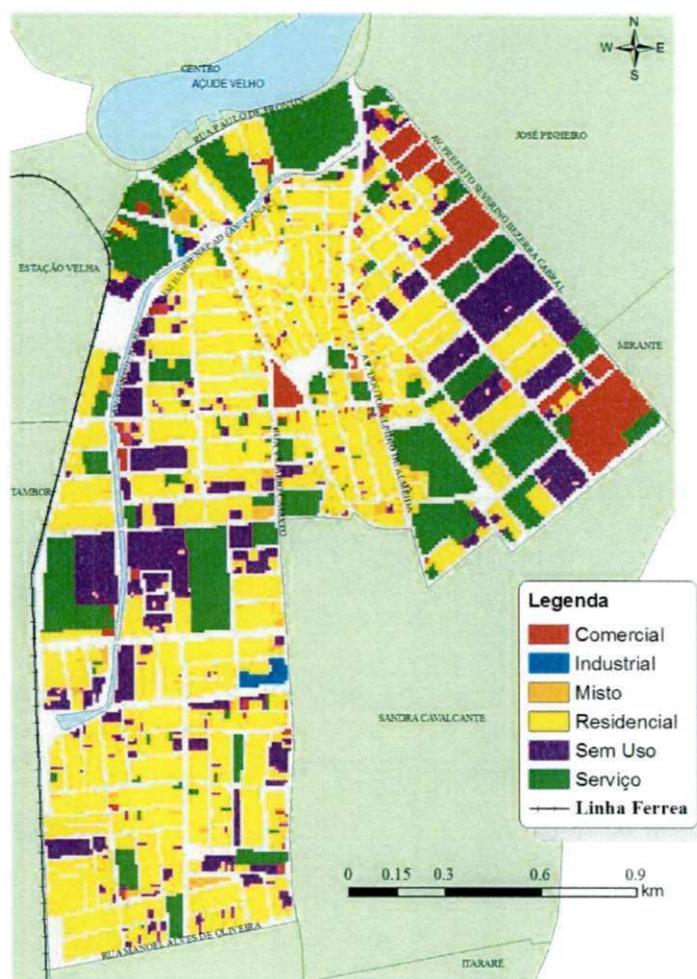
O cenário futuro *de longo prazo* foi gerado a partir da simulação da mudança de uso do solo no modelo Dinâmica EGO. O resultado obtido representa um prognóstico do bairro do Catolé caso as tendências atuais permaneçam. Cabe destacar, que a simulação foi realizada com mapas de períodos de tempo muito próximos (cinco anos), fator limitante na geração do prognóstico do bairro, e que os mapas de uso do solo da situação atual do bairro e do cenários I (futuro de curto prazo) foram gerados a partir dos dados coletados em campo, ou seja, a definição de um cenário “atual” e um cenário

“futuro de curto prazo” foi definida apenas pelas construções existentes no momento da pesquisa.

É importante destacar que as únicas mudanças de uso do solo consideradas na modelagem no Dinâmica EGO do lote *sem uso* para o *residencial, comercial, misto e serviço*. É certo que em um horizonte de cinco anos, ocorrerão muitas outras mudanças de uso no bairro, mas, para testar a metodologia proposta, optou-se por gerar os cenários a partir dos dados disponíveis considerando apenas estas possibilidades de transição.

Na Figura 27 é apresentado o mapa do cenário futuro de longo prazo que representa um prognóstico do bairro do Catolé para um horizonte de **dez anos**, caso as tendências atuais permaneçam.

O cenário prospectivo (Figura 27) obtido através das simulações de mudanças de uso do solo representa as tendências de futuras configurações espaciais do bairro do Catolé.



**Figura 27** Cenário II (futuro de longo prazo) do uso do solo do bairro do Catolé.

#### 4.2 Estimativa da demanda de água

Muitos pesquisadores destacam a necessidade de uma estimativa ou previsão da demanda de água o mais próximo possível da realidade. No entanto, a estimativa da demanda de água não é uma tarefa fácil, especialmente em sistemas não automatizados.

Como dito anteriormente, as estimativas da demanda de água para a área de estudo foram geradas a partir do uso de equações obtidas na literatura (e apresentadas nos anexos desse trabalho) e tendo como unidade base de cálculo, o lote.

#### **4.2.1 Situação atual e cenário I (futuro de curto prazo)**

A situação atual de uso do solo e o cenário futuro de curto prazo forneceram dados para a geração da situação atual e cenário I de demanda de água.

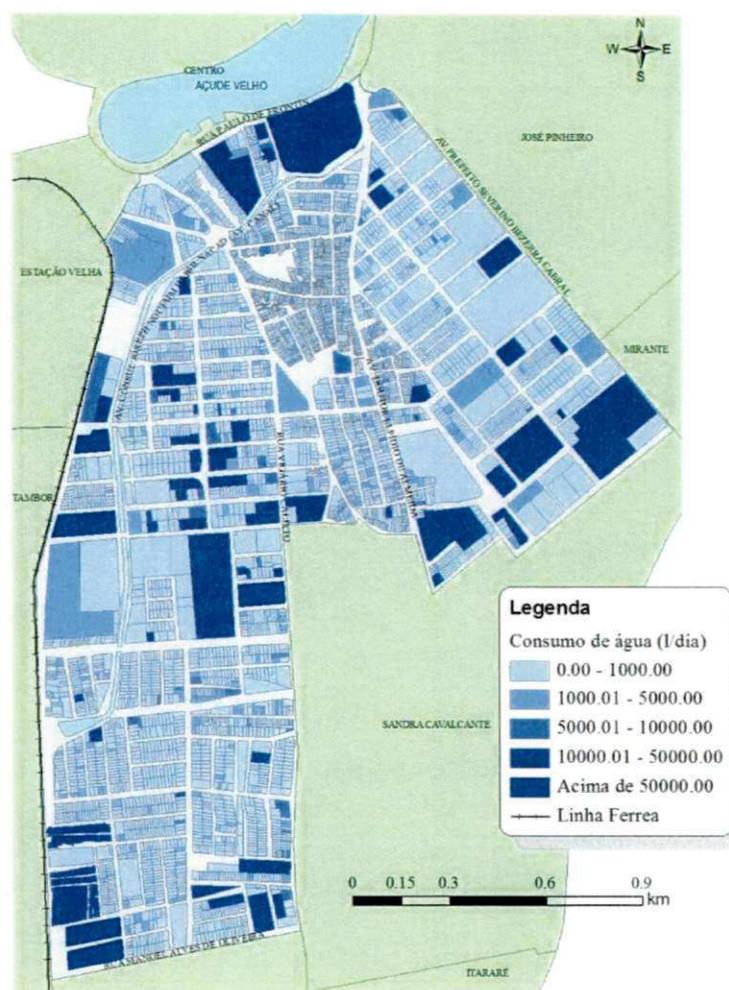
O objetivo principal de realizar a estimativa da demanda na área de estudo foi verificar até que ponto a expansão vertical do bairro implicaria um aumento da demanda de água.

A espacialização da demanda de água na situação atual e no cenário I mostra que determinadas áreas do bairro sofrerão um aumento significativo na demanda, fato já verificado por Araújo e Rufino (2011) em estudo desenvolvido em uma fração do bairro do Catolé.

As Figuras 28 e 29 apresentam a espacialização da demanda de água no bairro do Catolé para os dois primeiros cenários observados (situação atual e cenários I, respectivamente). A partir delas pode-se verificar que as áreas residenciais que apresentam maior consumo de água são onde estão localizadas as unidades verticais.

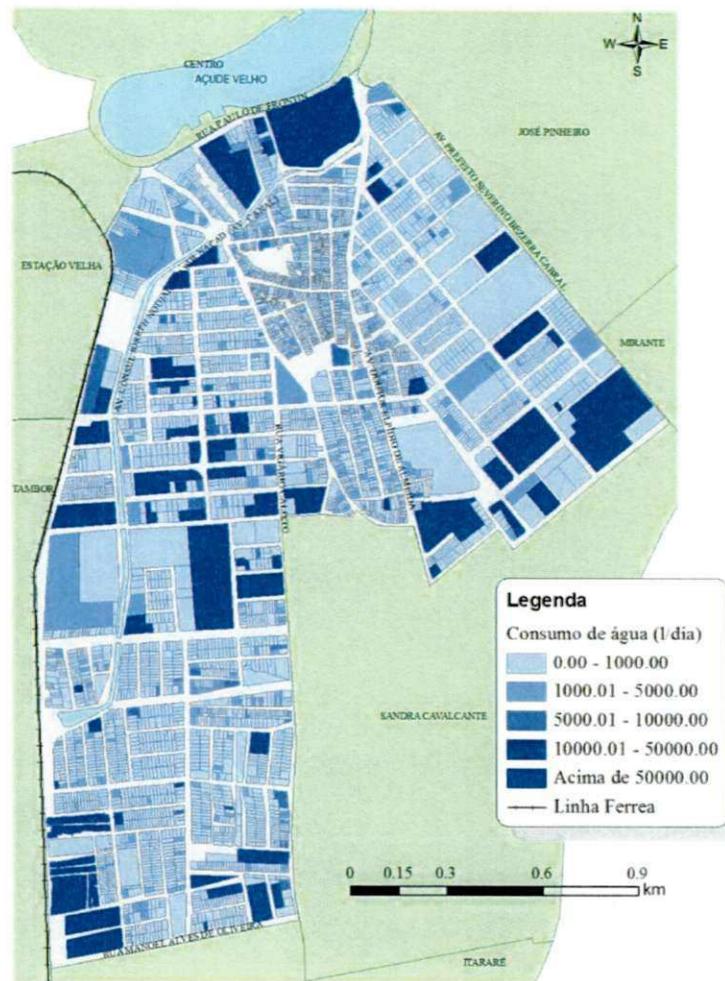
De acordo com a estimativa da demanda de água, outro grande consumo de água é o Parque da Criança, possivelmente devido a sua grande área de jardins. No entanto, vale destacar que o mesmo não é abastecido pelo sistema de distribuição de água da cidade.

Comparando-se a situação atual e o cenário I de demanda de água percebe-se que haverá um aumento na demanda de água da ordem de 14,33%, valor este calculado apenas para os lotes que estavam *em construção* na época da coleta de dados da pesquisa. E como já destacado anteriormente, após o final da pesquisa de campo, grandes empreendimentos começaram a ser construídos no bairro do Catolé, fato que, sem dúvidas, elevará muito mais esse valor.



**Figura 28** Espacialização da estimativa da demanda de água atual do bairro do Catolé.

Fazendo uma comparação entre as figuras 28 e 29 observa-se que muitos lotes que apresentavam demanda de água de no máximo 1.000 l/dia na situação atual, passarão a ter uma demanda de água maior que 50.000 l/dia no cenário I. Um dos principais motivos é a construção de unidades verticais que eleva consideravelmente o consumo de água.



**Figura 29** Espacialização da estimativa da demanda de água para o cenário I (futuro de curto prazo) do bairro do Catolé.

Diante dos cenários apresentados, surge a preocupação em torno do atendimento a estas crescentes demandas de água, pois, de acordo com Menezes (2011), a cada ano os problemas de atendimento no sistema de Campina Grande, vêm aumentando, haja vista o crescimento rápido das regiões e, principalmente, porque o sistema de abastecimento não vem acompanhando o crescimento, tanto no aspecto da ampliação de suas unidades produtoras e distribuidoras como na melhoria dos processos operacionais e minimização de perdas.

#### 4.2.2 Cenário II (futuro de longo prazo)

De acordo com os resultados obtidos na simulação de mudança de uso do solo, no cenário II, a tendência de crescimento e ocupação do uso do solo continua e, por consequência, o aumento da demanda de água na área.

Fazendo uma análise comparativa dos valores de demanda de água nos cenários I e II tem-se um aumento na ordem de **5,02%**. Esse valor pode ser explicado pelo fato dos dados utilizados como entrada no modelo Dinâmica EGO não considerarem o crescimento vertical na simulação, assim como não utilizavam todas as transições ocorridas no bairro.

Na Tabela 6 é possível observar os valores de demanda de água encontrados para cada uso do solo do cenário II.

**Tabela 6** Demanda de água estimada para o bairro do Catolé, cenário II.

Tipo de uso do solo	Número de pixels por uso do solo	Demanda por pixels (l/dia)	Demanda de água (l/dia)
Comercial	1341	87,96	117959,42
Industrial	86	21,16	1820,00
Misto	588	772,70	454345,35
Residencial	10016	503,04	5038488,76
Sem Uso	3498	0,00	0,00
Serviço	4601	126,43	581688,59

Assim como nos cenários “atual” e futuro de curto prazo, no cenário II o uso do solo que apresenta maior consumo é o *residencial*, devido principalmente, ao maior número de lotes com esse tipo de uso.

Na Tabela 7 é apresentada a demanda de água da área de estudo para os três cenários estudados.

**Tabela 7** Demanda de água estimada para o bairro do Catolé, Campina Grande – PB.

<b>Situação atual</b> Demanda de água atual (l/dia)	<b>Cenário I</b> Demanda de água futuro de curto prazo (l/dia):5 anos	<b>Cenário II</b> Demanda de água futuro de longo prazo (l/dia): 10 anos
5.160.960,20	5.899.659,97	6.194.302, 11

Observa-se na Tabela 7 uma evolução no crescimento da demanda de água no bairro do Catolé. De acordo com os resultados, em um horizonte de 10 anos, o aumento da demanda de água na área é em torno de 20%.

#### 4.3 Validação da estimativa da demanda de água

A validação dos dados foi uma etapa necessária no âmbito desta pesquisa, pois a partir dos dados obtidos pode-se avaliar quão eficiente, do ponto de vista prático, se encontra a metodologia aplicada.

Na Tabela 8 são apresentados os dados fornecidos pela CAGEPA para o cálculo do consumo de água por economia. Nesta etapa foram utilizados os dados do sistema de abastecimento de água de Campina Grande, pois a concessionária não dispõe dos dados por setor, conforme explicado na metodologia.

**Tabela 8** Dados do Sistema de abastecimento de água de Campina Grande para o outubro de 2009.

<b>Número de economias</b>	<b>Volume distribuído (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Consumo de água por economia (l/dia)</b>
125.797,00	2.979.796.000,00	764,11

Fonte: Elaborado com base em CAGEPA (2012) e Menezes (2011).

Na Tabela 9 são apresentadas as informações pertencentes ao Setor 5 do sistema de distribuição de água de Campina Grande. Cabe lembrar, que o Setor 5 é o único setor do sistema completamente inserido no bairro do Catolé.

**Tabela 9** Dados da rede de distribuição de água do bairro do Catolé (Setor 5).

<b>Número de economias (CAGEPA, 2011)</b>	<b>Volume consumido estimado (m3)</b>	<b>Demanda de água por economia (l/dia)</b>
2.641,00	1.584.422,39	599,93

A Tabela 10 apresenta o resultado da validação dos dados estimados para a demanda de água na área de estudo.

**Tabela 10** Consumo de água por economia **medido pela CAGEPA** e demanda de água **estimada pela metodologia proposta.**

<b>Consumo de água por economia medido (l/dia)</b>	<b>Demanda de água por economia estimada (l/dia)</b>	<b>Diferença (%)</b>
794,11	599,93	21,49

De acordo com os valores apresentados na Tabela 10, ocorreu uma diferença de 21,49% entre os valores de consumo de água medido e estimado. Esta diferença pode ser explicada pelo fato da concessionária computar como volume medido a parcela de água perdida na distribuição, seja por vazamentos ou por outro fator qualquer.

Cabe ressaltar que para os dados de consumo de água utilizados na estimativa da demanda de água em residências foram utilizados valores fornecidos por especialistas da CAGEPA, ou seja, para este tipo de uso, considerou-se o volume de perdas embutido nos cálculos. Porém, para todos os outros tipos de uso do solo foi considerado apenas o consumo de água sugerido por especialistas.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

---

Diante da problemática da expansão acelerada das cidades, estudos que realizem previsões do comportamento das mudanças de uso do solo são indispensáveis para um adequado planejamento dos serviços de infraestrutura urbana.

Aliado às previsões de mudanças de uso do solo urbano, informações sobre a tendência de verticalização ou adensamento de uma área, são fatores importantíssimos em estudos dessa natureza.

Nesta perspectiva, o uso de cenários de evolução de uso do solo são ferramentas potenciais para auxiliar os tomadores de decisões no desenvolvimento de planos que possibilitem a indicação de diretrizes mais adequadas ao meio urbano. Os modelos de simulação da dinâmica espacial associados aos sistemas de informações geográficas são ferramentas de elevada capacidade na indicação de áreas com potencial para expansão.

Devido às características dos cenários de uso do solo obtidos a partir dos dados de campo, onde, por falta de dados, ocorreu apenas a transição de uso do solo *sem uso* para os usos *residencial, comercial, misto e serviço*, que certamente não representa fielmente a realidade, o prognóstico obtido a partir da simulação de mudança de uso do solo no modelo Dinâmica EGO gerou resultados de mudança de uso do solo aquém do esperado.

No entanto, através dos mapas temáticos gerados pelo SIG foi possível identificar que a área de estudo apresenta um grande potencial para expansão, especialmente para verticalização, devido a grande quantidade de lotes desocupados próximos a objetos imobiliários atrativos (como o principal *shopping* da cidade) como também pela construção de várias unidades verticais de grande porte.

No tocante ao crescimento da demanda de água no bairro, pode-se afirmar que os resultados obtidos apresentam, do ponto vista da capacidade de atendimento da demanda de água, indicadores preocupantes. Considerando apenas a situação atual e o cenário I (futuro de curto prazo) tem-se um aumento da demanda de água na ordem 14,33%. Quando se insere o cenário futuro de longo prazo (cenário II) este valor aumenta para 20,02%, um cenário preocupante, pois de acordo com especialistas da CAGEPA o sistema de distribuição de água de Campina Grande já trabalha no seu limite, visto que o projeto do sistema de abastecimento de água da cidade teve um alcance previsto para o ano de 2005.

A espacialização da demanda de água do bairro do Catolé foi indispensável do ponto de vista da localização das áreas onde a elevação do consumo de água será mais crítico. Observa-se que, nesta etapa do trabalho, a utilização dos sistemas de informação geográfica foi essencial, pois o SIG apresenta informações que não poderiam ser identificadas através de planilhas eletrônicas, gráficos ou qualquer outro meio de apresentação e análise.

A validação da estimativa da demanda de água no cenário atual apresentou resultados satisfatórios, com uma diferença entre o valor de cálculo, de acordo com a metodologia aplicada, e o valor medido pela CAGEPA da ordem de 21,49%, tendo em vista que essa diferença, possivelmente, se deve ao fato da companhia de água computar como volume consumido todas as perdas do sistema.

Em termos gerais, destaca-se que a pesquisa teve um caráter introdutório, no entanto, ressalta-se que a metodologia aplicada gerou resultados satisfatórios tanto do ponto de vista da expansão urbana como na estimativa da demanda de água da área de estudo.

Tendo em vista que os Sistemas de Informação Geográfica e os modelos de dinâmicas espaciais são ferramentas com grande potencial para o desenvolvimento de estudo sobre o meio urbano e que são necessários estudos sobre os impactos causados pela mudança e crescimento das cidades nos serviços de infraestrutura das cidades apontam-se algumas sugestões para pesquisas futuras:

- Modelar a rede de distribuição de água do bairro do Catolé e analisar o comportamento hidráulico da mesma diante dos crescentes valores de demanda de água;
- Utilizar outras metodologias de cálculo de estimativa de consumo para possibilitar comparações e análises, bem como considerar diferentes padrões de consumo haja visto que os padrões considerados em algumas metodologias de cálculo existentes são muitas vezes superestimados;
- Identificar áreas que apresentam elevado grau de verticalização a fim de diagnosticar possíveis limitações na rede de distribuição de água;
- Refazer o estudo de mudança de uso do solo, utilizando como mapa inicial uma imagem mais antiga, como por exemplo, dos anos 1990, a fim de obter uma matriz de transição que represente melhor as mudanças do bairro, pois as maiores transições ocorridas no Catolé foram entre a década de 1990 e os anos 2000;
- Aplicar a metodologia desenvolvida em outras áreas de estudo com comportamento semelhante ao bairro do Catolé.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/> Acesso em: 19/09/2011.

ALBUQUERQUE, T. M. A. **Seleção multicriterial de alternativas para o gerenciamento da demanda de água na escala de bairro**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2004. 180p.

ALMEIDA, C. M. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil**. Tese de doutorado. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). São José dos Campos, 2003. 321p.

ALMEIDA, C. M. **O diálogo entre as dimensões real e virtual do urbano**. In: Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual. Oficina de textos, 2007.

ALMEIDA, C. M.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G. **Modelos de dinâmica urbana: conceitos, derivação de relações, calibração, exemplos**. In: XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Mini-curso. Belo Horizonte – MG. 2003.

ALMEIDA, C. M.; MONTEIRO, A. M. V.; CÂMARA, G. **Modelos de Simulação e Prognósticos de Mudanças de Uso do Solo Urbano: Instrumento para o Subsídio de Ações e Políticas Públicas Urbanas**. In: XI Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional. Salvador, 2005.

AL-OMARI, A. S.; ABDULLA, F. A. **A model for determination of residential water demand by use of tracers**. Advances in Engineering Software. v. 40. p. 85 – 94. 2009.

ARAÚJO, E. L. de; RUFINO, I. A. A.; LUNGUINHO, R. L. **Análise da expansão urbana versus o comportamento da rede de distribuição de água da cidade de Campina Grande – PB através de imagens de satélite**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba – PR, 2011.

ARAÚJO, E. L. de.; RUFINO, I. A. A. **Estimativa do crescimento da demanda de água baseada em dados de uso e ocupação do solo urbano.** In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió – AL, 2011.

BARRETO, D. **Perfil de consumo residencial e usos finais da água.** Ambiente Construído, v. 8, n. 2, p. 23-40. Porto Alegre – RS, 2008.

BATTY, M.; XIE, Y. **Preliminary evidence for a theory of the fractal city.** Environmentand Planning A, v. 28, p. 1745-1762, 1996.

BATISTA, M. E. M. **Desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão para a Gestão Urbana Baseado em Indicadores Ambientais.** Dissertação de mestrado. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2005.

BONATES, M. F. **Leis que (des) orientam o processo de verticalização: Transformações urbanas em Campina Grande à revelia da legislação urbanística.** In: XI Colóquio Internacional de Geocrítica, Buenos Aires, 2010. Disponível em: <<http://eventos.filo.uba.ar/index.php/geocritica/2010/paper/view/517>> Acesso em: 25 ago. 2010.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic Infomation Systems for geocientists: modeling with GIS.** Delta Printing, Ontario, 1994.398p.

BRASIL. **Cidades sustentáveis: subsídios à elaboração da Agenda 21 brasileira.** Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Consórcio Parceria 21: IBAM/ISER/REDEH. 2000.

CAGEPA – Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. Relatório de Informações Cadastrais. Campina Grande, 2011.

CALIJURI, M. L.; LOURES, S. S. P. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas.** Universidade Federal de Viçosa, 2006. 27p.

CAMBOIM, I. L. M.; BONATES, M. F. **As dinâmicas do processo de verticalização: a reinvenção da paisagem urbana de Campina Grande – PB.** VII Congresso de Iniciação Científica da Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

CARIDADE, G. N. C.; PEREIRA, C. S. **Análise do crescimento urbano no município de Ubatuba- SP e suas conseqüências para a balneabilidade das praias.** Relatório de projeto de Iniciação Científica. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009.

CARNEIRO, P. R. F.; CARDOSO, A. L.; ZAMPRONIO, G. B.; MARTINGIL, M. de C. A. **Gestão Integrada de Recursos Hídricos e do Uso do Solo em bacias urbano-metropolitanas: o controle de inundações na bacia dos rios Iguaçu/Sarapuí, na Baixada Fluminense.** Ambiente & Sociedade. v. XIII, n. 1, p. 29 - 49. Campinas - SP, 2010.

CASTRO, E. **Construção deve crescer 60% em Campina Grande.** Correio da Paraíba. Campina Grande, 28 fev. 2010. Economia. p. E2.

CAVALCANTE, V. R.; MAGALHÃES SOBRINHO, F. das C.; SILVA JÚNIOR, A. F. da. **Estudo do crescimento urbano no município de Goiânia-GO por meio de ferramentas de Geoprocessamento com ênfase em Sensoriamento Remoto.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis – SC, 2007.

CORDÃO, M. J. de S. **Modelagem e otimização da disposição espacial de unidades de reservação em redes de distribuição de água utilizando geotecnologias.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2009. 115p.

COSTA, A. N.; ALVES, M. G. **Monitoramento da expansão urbana no município de Campos dos Goytacazes – RJ, utilizando geoprocessamento.** In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Goiânia - GO, 2005. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbst/2004/11.20.17.48/doc/3731.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2010.

COSTA, J. P. O. H. **Criação de cenários de expansão urbana com recurso a autómatos celulares no apoio ao planeamento e gestão territorial: Cabeceiras de Basto (Norte de Portugal).** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Porto, 2010.

DEMERS, M. N. **Fundamentals of Geographic Information Systems.** John Wiley & Sons. Second Edition, 2003. 636p.

ECHENIQUÉ, M. **Modelos matemáticos de La estructura espacial urbana: aplicaciones en América Latina**. SIAP, 1975. 287p.

FARIA, E. F.; SOARES, L. J. de C.R. **A verticalização do bairro Belvedere III, os impactos ambientais gerados e a responsabilidade do estado**. In: XVI Congresso Nacional do Conselho Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Direito (CONPEDI). Belo Horizonte – MG, 2007.

FALKENBERG, A. V. **Previsão de consumo urbano de água em curto prazo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2005. 89p.

FERRARI, F. B. ; LAPOLLI, É. M. **Uma proposta de avaliação da expansão urbana na ilha de Santa Catarina utilizando técnicas de sensoriamento remoto**. In: IX Simposio Latinoamericano de Percepción Remota y Sistemas de Información Espacial - SELPER, 2000, Puerto Iguazú. Disponível em: <<http://www.selper.org/trabajos/uso028.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2010.

GUEDES, M. J. F. **Gerenciamento da demanda de água: proposta de alternativas na escala de uma cidade**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2009. 157p.

GODOY, M. M. G.; SOARES FILHO, B. S. **Modelagem da dinâmica intra-urbana no bairro Savassi, em Belo Horizonte**. In: Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual. Oficina de textos, 2007.

HE, C; TIAN, J.; SHI, P.; HU, D. **Simulation of the spatial stress due to urban expansion on the wetlands in Beijing, China using a GIS-based assessment model**. Landscape and Urban Planning. v. 101, p. 269 – 277. 2011.

HERRERA, M.; TORGO, L.; IZQUIERDO, J.; PÉREZ-GÁRCIA, R. **Predictive models for forecasting hourly urban water demand**. Journal of Hydrology. v. 387. p. 141 – 150. 2010.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). [www.censo2010.ibge.gov.br](http://www.censo2010.ibge.gov.br) Acesso em: 15/09/2011.

JESUS, J. A. **Mapeamento temporal e classificação do processo de verticalização no centro urbano de Jacobina - BA.** In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. Porto Alegre – RS, 2010.

JIMÉNES, A. M.; SENDRA, J. B. **Diseño de un Sistema de Informacion Geografica para lagestion de equipamientos sociales.** In: 2º Congreso. Los Sistemas de Información Geográfica e nel umbral del s. XXI. Madrid, 1993, p. 213-222.

KOSTAS, B.; CHRYSOSTOMOS, S. **Estimating urban residential water demand determinants and forecasting water demand for Athens metropolitan area, 2000-2010.** South-Eastern Europe Journal of Economics. v. 1, p. 47 – 59.2006.

LINS, G. M de L. **Análise de variáveis determinantes no consumo urbano de água de uso doméstico na cidade de Campina Grande –PB.** . Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2011. 92p.

LONGLEY, P. **Geographical Information Systems: a renaissance of geodemographics for public service delivery.** Progress in Human Geography. v. 29, nº 1, p. 57-63.2005.

LÖWEN SAHR, C. L. **Dimensões de análise da verticalização: reflexões sobre a cidade média de Ponta Grossa - PR.** Revista de História Regional, Ponta Grossa, v. 5, n. 1, p. 9-36, 2000.

MARTINS, C. M. T.; MENDES, M. G. T.; ABREU, J. M.; ALMEIDA, J. P. L. de; LIMA, J. P. de; LIMA, I. P. de. **Hidrologia urbana (Conceitos básicos).**2010. 187p.

MARA, R. O. ; FORMIGA, K. T. M. **O uso de Sistemas de Informações Geográficas na Operação de Sistemas de Distribuição de Água.** Infogeo, 2009. Disponível em: <http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/o-uso-de-sistemas-de-informacoes-geograficas-na-operacao-de-sistemas-de-distribuicao-de-agua/>.

MAS, J.; KOLB, M.; HOUET, T.; PAEGELOW, M.; OLMEDO, M. T. C. **Una comparación de programas de modelación de cambios de cobertura / uso del suelo.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba – PR, 2011.

MELO, L. de. **Seleção e hierarquização de áreas para implantação de aterro sanitário, utilizando geoprocessamento e lógica “Fuzzy”: Aplicação na Região**

**Metropolitana de Aracaju (SE).** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2008. 161p.

**MENESES, R. A. Diagnóstico operacional de sistemas de abastecimento de água: o caso de Campina Grande.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2011. 144p.

**MIRANDA, J. I. Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas.** Brasília – DF. Embrapa Informação Tecnológica: Editora Perfil, 2005. 425p.

**MORAIS, L. S. SILVA, P. C. M. MEDEIROS, W. D. A. Análise do Processo de Verticalização na área urbana do município de Mossoró-RN: Aspectos Jurídicos e Ambientais.** Revista Verde. Mossoró – RN. v.2, n.2, p.171-182, 2007.

**NOGUEIRA, A. C. F.; SANSON, F.; PESSOA, K. A expansão urbana e demográfica da cidade de Manaus e seus impactos ambientais.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis - SC, 2007.

**NUCCI, J. C. . Análise sistêmica do ambiente urbano, adensamento e qualidade ambiental.** Ciências Biológicas e do Ambiente, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 73-88, 1999.

**ODAN, F. K. Previsão de demanda para sistemas de abastecimento de água.** Dissertação de mestrado. São Carlos, 2010.

**OLIVEIRA, E. F. C. C de, KOIDE, S. Uma análise do consumo de água em prédios residenciais – hidrômetros individuais, tipologia da construção e condição econômica do usuário.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió – AL, 2011.

**PAREDES, E. A. Sistema de Informação Geográfica (Geoprocessamento) Princípios e aplicações.** São Paulo, 1994. 690p.

**PEREIRA, S. S.; MELO, J. A. B. Gestão dos resíduos sólidos urbanos em Campina Grande/PB e seus reflexos socioeconômicos.** Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional - G&DR, v. 4, n. 4, p. 193-217, 2008.

1

RAMIRES, J. C. L. **O processo de verticalização das cidades brasileiras.** Boletim de Geografia, v. 16, n. 1, p. 97-105, 1998.

REGO, A. A. de C. **Integração de ferramentas SIG para a otimização de Sistema adutor com recurso ao EPANET.** Dissertação de Mestrado. Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Porto, 2007. 135p.

RODRIGUES, H. O.; SOARES FILHO, B. S.; COSTA, W. L. S. **DINAMICA EGO, uma plataforma para modelagem de sistemas ambientais.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis - SC, 2007.

ROSSETTI, L. A. F. G.; ALMEIDA, C. M.; PINTO, S. A. F. **Modelagem dinâmica espacial de mudanças no uso da terra da cidade de Rio Claro, SP.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba – PR, 2011.

RUFINO, I. A. A. **Gestão de recursos hídricos em ambientes urbanos costeiros: modelagem e representação do conhecimento em Sistemas de Informação Geográfico.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2004. 166p.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo: Norma Técnica NTS Nº 181: **Dimensionamento de ramal predial de água e do hidrômetro,** 2005.

SILVA, O. F.; SENA, K; CORDEIRO, N. F.; ALMEIDA, R. **Geoprocessamento aplicado ao estudo do processo de verticalização e suas implicações no desempenho energético urbano da cidade de Macapá-AP.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, 2011.

SOARESFILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C.; ARAÚJO, W. L.; VOLL, E. **Modelagem de dinâmica de paisagem: concepção e potencial de aplicação de modelos de simulação baseados em autômato celular.** Megadiversidade. v. 3, p. 74-86, 2007.

SOARES FILHO, B. S.; PENNACHIN, C. L.; CERQUEIRA, G. **DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the land scape dynamics in na Amazonian colonization frontier.** EcologicalModelling, v. 154, n. 3, p. 217 – 235, 2002.

SOARES FILHO, B. S.; RODRIGUES, H. O.; COSTA, W. L. **Modeling environmental dynamics with Dinâmica EGO**. Centro de Sensoriamento Remoto/ Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. Disponível em: [http://www.csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica\\_EGO\\_guidebook.pdf](http://www.csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica_EGO_guidebook.pdf).

SOLER, E. M. **Otimização dos custos de energia elétrica na programação do armazenamento e distribuição de água em redes urbana**. Dissertação do Mestrado. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2008. 68p.

SOMEKH, N. **A cidade vertical e o urbanismo modernizador**. São Paulo: Nobel, EDUSP, FAPESP, 1997, 173p.

THAPA, R. B.; MURAYAMA, Y. **Urban growth modeling of Kathmandu metropolitan region, Nepal**. Computers, Environment and Urban Systems. v. 35. P. 25 – 34. 2011.

TIBÚRCIO, E. C. **Desenvolvimento de uma interface em SIG para suporte ao dimensionamento hidráulico de sistemas de abastecimento de água**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2006. 206p.

TRENTIN, G.; FREITAS, M. I. C. de. **Modelagem da dinâmica espacial urbana: modelo de autômato celular na simulação de cenários para o município de Americana-SP**. Revista Brasileira de Cartografia. p. 291 – 305, 2010.

TSUTUYIA, M. T. **“Consumo de água”**. In: **Abastecimento de água**. São Paulo –SP, 2006. p. 35 – 65.

TUCCI, C. E. M. **Águas urbanas**. Estudos Avançados. USP. Impresso. v. 22, p. 97-112, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – ABRH. Porto Alegre, 2005. 669 p.

VICENTE, R.V. **Modelo de Operação para centros de controle de abastecimento de água. Estudo de caso: sistema adutor metropolitano de São Paulo**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. 139p.

WYATT, A. J. **Water Sensitive Urban Design.** In: Proceedings from the 21st Tennessee Water Resources Symposium. 2011.

WONG, T. H. F. **An Overview of Water Sensitive Urban Design Practices in Australia.** Water Practice & Technology. v. 1, n° 1. 2006.

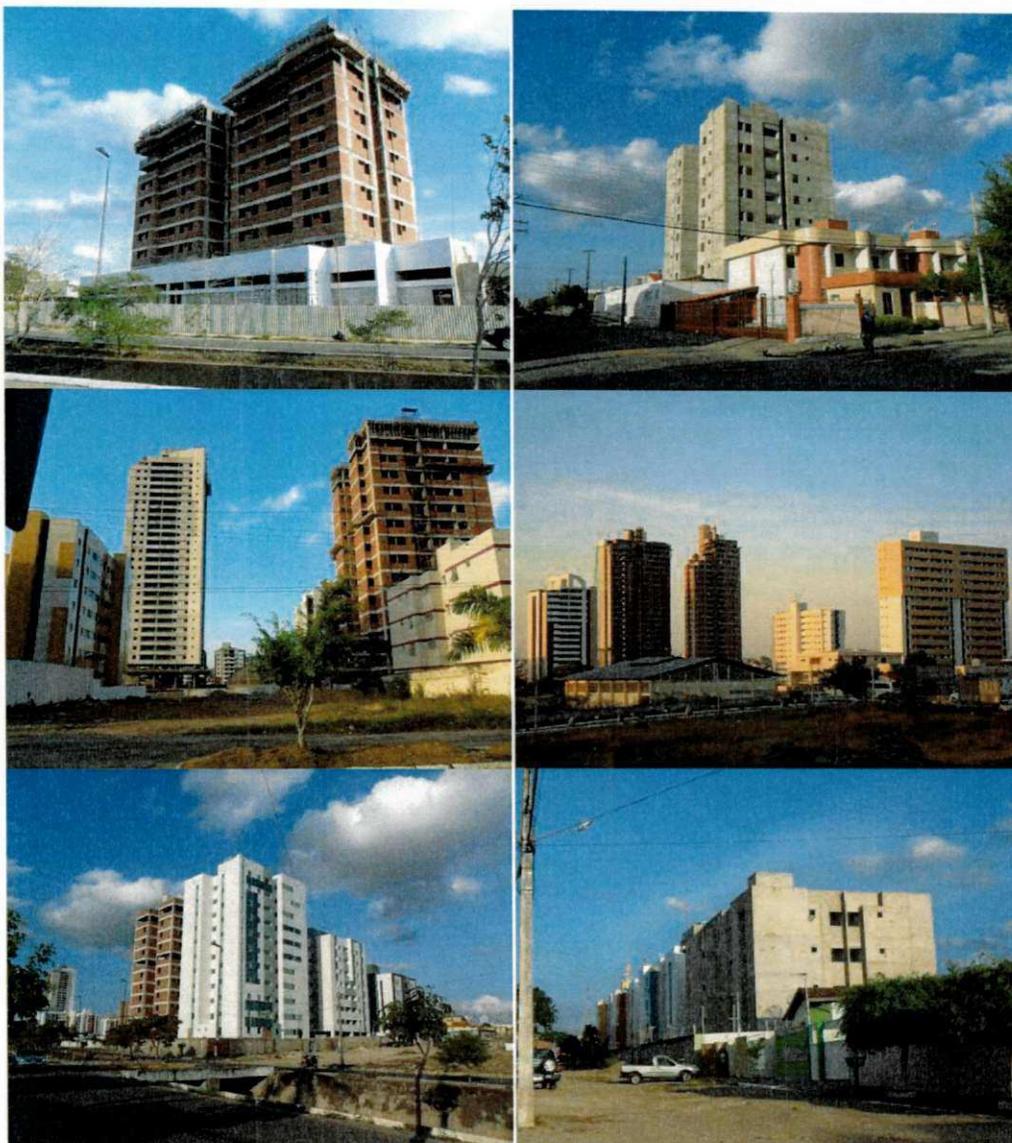
ZHAO-LING, H. U.; PEI-JUN, D.U.; DA-ZHI, G. U. O. **Analysis of urban expansion and driving forces in Xuzhou city based on remote sensing.** Journal of China University of Mining & Technology. v. 17, n. 2, p. 267 – 271, 2007.

WYATT, A. J. **Water Sensitive Urban Design.** In: Proceedings from the 21st Tennessee Water Resources Symposium. 2011.

WONG, T. H. F. **An Overview of Water Sensitive Urban Design Practices in Australia.** Water Practice & Technology. v. 1, n° 1. 2006.

ZHAO-LING, H. U.; PEI-JUN, D.U.; DA-ZHI, G. U. O. **Analysis of urban expansion and driving forces in Xuzhou city based on remote sensing.** Journal of China University of Mining & Technology. v. 17, n. 2, p. 267 – 271, 2007.

1) Alguns edifícios, de grande e médio porte, em construção no bairro do Catolé, Campina Grande – PB.



**Figura 30** Edifícios em construção no bairro do Catolé.

2) A seguir são apresentadas as equações utilizadas no cálculo da demanda de água para a geração dos cenários I (futuro de curto prazo) e da situação atual do bairro do Catolé.

**A.1** A estimativa da demanda de água para os lotes com uso do solo residencial foram feitas de acordo com metodologia indicada por especialistas da CAGEPA. Nesta

estimativa foram utilizadas duas equações, a primeira (Equação 6) para uso residencial do tipo “apartamento” e a segunda (Equação 7) para uso residencial do tipo “casa”:

$$\text{Consumo por lote} = \frac{N^{\circ} \text{ de pavimentos} \times N^{\circ} \text{ de unidades por pavimento} \times \text{Densidade populacional do domicílio} \times \text{consumo per capita}}{\text{Eq.6}}$$

$$\text{Consumo por lote} = \text{Densidade populacional do domicílio} \times \text{consumo médio per capita} \text{ Eq. 7}$$

A estimativa da demanda de água para o uso residencial, tanto para tipo casa como para o tipo apartamento, foi realizada utilizando os dados de população por domicílio, nesta pesquisa denominada de densidade populacional por domicílio, fornecida pelo IBGE (2011) para o bairro do Catolé. Como também foi utilizado o consumo *per capita* para a cidade de Campina Grande – PB fornecido por especialistas da CAGEPA.

**A.2** Os lotes com uso do solo comercial são os mais heterogêneos do trabalho, vão desde lojas de roupas até padarias. A maior parte das equações utilizadas para este uso do solo foram obtidas através da revisão da literatura. A seguir serão apresentadas as equações utilizadas para cada tipo de uso comercial:

*Para estabelecimentos comerciais do tipo lojas, mercados, distribuidoras de bebidas, farmácias, entre outros (Tsutyia, 2006):*

$$\text{Demanda por lote} = n^{\circ} \text{ de funcionários} \times \text{consumo médio per capita} \text{ Eq. 8}$$

*Para estabelecimentos comerciais do tipo shopping center:*

$$\text{Demanda por lote} = -1692(\pm 338) + 0,348 \text{ ABL} - 0,0325 \text{ ATT} + 0,0493 \text{ ATC} - 468 \text{ NC}$$

(Tsutyia, 2006)Eq. 9

Sendo:        ABL – Área Bruta Locável;  
                  ATT – Área Total do Terreno;  
                  ATC – Área Total Construída;  
                  NC – Número de cinemas.

*Para estabelecimentos comerciais do tipo padaria:*

$$\text{Demanda por lote} = -0,68 + 3,48 \text{ NE} + 43,4 \text{ L} \quad (\text{Tsutyia, 2006})\text{Eq. 10}$$

Onde:        NE – número de empregados;  
                  L – 1, padaria com lanchonete;  
                  L – 0, padaria sem lanchonete.

**A.3** Assim como os lotes de uso comercial, os lotes de uso serviço também são muito heterogêneos. Este uso do solo compreende hospitais, clínicas, igrejas, museus, oficinas, escolas, universidades, clubes, escritórios, entre outros. Neste caso, cada tipo de uso do solo utiliza uma equação diferente para o cálculo da demanda de água. A seguir são apresentadas as equações que foram utilizadas no uso do solo denominado serviço:

*Hospital e clínicas (Tsutyia, 2006):*

$$\text{Demanda por lote} = \text{consumo por leito} \times \text{número de leitos}, \left(\frac{\text{l}}{\text{dia}}\right)\text{Eq. 11}$$

*Igreja (Tsutyia, 2006):*

$$\text{Demanda por lote} = \text{consumo por lugar} \times \text{número de lugares}, \left(\frac{\text{l}}{\text{dia}}\right)\text{Eq. 12}$$

*Museu*

$$\text{Demanda por lote} = \text{consumo por pessoa} \times \text{número de pessoas}, \left(\frac{l}{\text{dia}}\right) \text{Eq. 13}$$

*Tipo de uso - Escola e universidades (Tsutyia, 2006):*

$$\text{Demanda por lote} = \text{consumo por aluno} \times \text{número de alunos}, \left(\frac{l}{\text{dia}}\right) \text{Eq. 14}$$

*Escritórios e postos de combustíveis (Tsutyia, 2006), oficinas (SABESP, 2005):*

$$\text{Demanda por lote} = \text{consumo por funcionário} \times \text{número de funcionários}, \left(\frac{l}{\text{dia}}\right)$$

Eq. 15

**A.4** Os lotes com uso do solo industrial são menos freqüentes no bairro Catolé. O bairro tem um número pequeno de indústrias. No entanto, para cada tipo de indústria faz-se necessário um equação específica para o cálculo da sua demanda de água. A seguir, são mostradas os tipos de indústrias presentes no Catolé assim como as respectivas equações utilizadas no cálculo da demanda de água.

*Produção de velas decorativas, calçados, sabão – consumo de água para fins sanitários (Tsutyia, 2006):*

$$\text{Demanda por lote} = \text{consumo por operário} \times \text{número de operários}, \left(\frac{l}{\text{dia}}\right) \text{Eq. 16}$$

3) Na Tabela A1 são apresentados alguns estudos sobre o processo de verticalização do Brasil, que confirmam o caráter recente dos estudos sobre o tema.