



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA  
CAMPUS PROFESSORA MARIA DA PENHA  
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**THIAGO PIRES BEZERRA**

**PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO  
GEOTECNOLOGIAS**

**ARARUNA  
2015**

**THIAGO PIRES BEZERRA**

**PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO  
GEOTECNOLOGIAS.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil da  
UEPB – Campus VIII, como requisito para  
obtenção do título de Bacharelado em  
Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Maria José de Sousa  
Cordão.

**ARARUNA  
2015**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

B574p Bezerra,Thiago Pires  
Planejamento de sistemas de abastecimento de água utilizando geotecnologias [manuscrito] / Thiago Pires Bezerra. - 2015.  
43 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Tecnologia e Saúde, 2015.

"Orientação: Ma.Maria José de Sousa Cordão, Departamento de Engenharia Civil".

1. Abastecimento de Água. 2.Zona urbana. 3.Água I. Título.  
21. ed. CDD 628.1

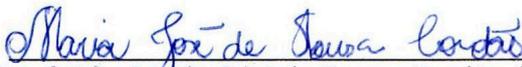
THIAGO PIRES BEZERRA

PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO  
GEOTECNOLOGIAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Coordenação do Curso de Engenharia Civil da  
UEPB – Campus VIII, como requisito para  
obtenção do título de Bacharelado em  
Engenharia Civil.  
Área de concentração: Recursos hídricos.

Aprovada em: 17/06/2015.

BANCA EXAMINADORA

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Me. Maria José de Sousa Cordão (Orientador)  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Me. Erick dos Santos Leal  
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

  
\_\_\_\_\_  
Eng. Me. Ronaldo Meneses  
Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGEPA)

Aos meus pais amados, Inaldo e Gilvanete, pelo apoio, confiança e incentivo em todos os momentos, e ao meu filho, João Pedro, por tantos momentos de alegria, DEDICO.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida de paz e harmonia, pela oportunidade de evolução espiritual, e pelo amparo nos instantes de dificuldades.

A professora e orientadora Maria José dos Santos Cordão. Agradeço pelo conhecimento transmitido, tornando possível ponderar minha pouca experiência, pela dedicação e espírito de cooperação.

A minha irmã Thais e meus sobrinhos Talita, João e Matheus pelo amor, companheirismo, apoio e incentivo constante.

A minha querida Andrea, por sua dedicação, carinho e compreensão em todos os momentos. Pelas conversas motivacionais as quais me alegram e mantem forte. Seu apoio é uma grande motivação.

Aos professores do Curso de Engenharia Civil da UEPB, pelos ensinamentos valiosos, disponibilidade e apoio ao longo da convivência e no direcionar dos caminhos, ao longo do curso.

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio. Em especial Maria Julia e Thiarly com os quais dividi muitos momentos durante todo o curso.

E por fim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

“A água de boa qualidade é exatamente como a saúde e a liberdade: só tem valor quando acaba.”

Guimarães Rosa

## RESUMO

Em virtude da dinâmica de crescimento populacional e da ocupação urbana ocorrida no Brasil, nas últimas décadas, muitos sistemas de abastecimento de água (SAA) tornaram-se ineficientes, fato ocasionado muitas vezes pela falta de incentivo à capacitação técnica para gestão de riscos ao suprimento de água. Diante desse cenário novas técnicas de otimização foram desenvolvidas, possibilitando uma modelagem mais realista dos problemas através de análises em microcomputadores, utilizando geotecnologias. Essas técnicas envolvem o manuseio de grande quantidade de informações, originárias de distintas fontes e natureza, sendo o Sistema de Informações Geográficas (SIG), uma forma moderna e eficaz de interligar estas informações e espacializá-las. Para tornar um SAA eficiente é necessário primeiramente realizar um diagnóstico, e a partir deste, pode-se modelar diferentes cenários e estabelecer alternativas para o atendimento da demanda em virtude do crescimento da demanda. Dessa forma a proposta do presente trabalho, é apresentar os principais componentes de um sistema urbano de distribuição de água e abordar meios de otimização dos mesmos através de informações espacializadas utilizando técnicas presentes em SIG.

Palavras chave: Sistemas de Abastecimento de Água, Planejamento, Geoprocessamento.

## ABSTRACT

Due to the population growth dynamic and the urban housing occurring in Brazil, in the last decades, several Water Supply Systems (WSS) became themselves ineffective. This event is mainly caused by the inducement lack to the technical preparation for risk management of the water supply. By facing this scenario, new improvement techniques were developed, enabling a more realistic modeling of the problems through analysis on microcomputers, using geotechnology. These techniques involve the handling large amounts of information originating from different sources and nature, being the Geographic Information System (GIS) a modern and efficient way of linking this information and specialize it. Firstly, to turn a WSS efficient, once more, is necessary to diagnose the system situation, assuming different scenarios and establishing alternatives to meet the demand because of population growth and the trend of increased consumption of water. Thus, the purpose of this work is to present the main components of an urban water distribution system, and, also, to discourse about improvement means of the Urban Water Distribution Systems (UWDS) from the risks and non-supplying point of view, using geoprocessing.

Key words: Supply, Improvement, Geoprocessing.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Modelo esquemático dos procedimentos metodológicos	22
Figura 2 – Área de estudo – zona urbana de Campina Grande, PB.	23
Figura 3 – Manancial e ETA do SAA de Campina Grande	24
Figura 4 – Esquema representativo do SUDA-CG	26
Figura 5 – Modelagem Numérica do Terreno	27
Figura 6 – Zonas de Pressão do Sistema estudado	28
Figura 7 – Modelo esquemático dos procedimentos executados para a modelagem espacial de áreas com risco ao desabastecimento na AI – R9.	32
Figura 8 – Modelo esquemático dos procedimentos executados para a modelagem espacial de áreas com risco ao desabastecimento na AI-R9. (CONTINUAÇÃO)	32
Figura 9 – Altura geométrica para a área de influência do reservatório R9	34
Figura 10– População (demanda) para a área de influência do reservatório R9	35
Figura 11– Distância dos usuários a unidade de reservação	35
Figura 12– Domicílios abastecidos pela rede geral	36
Figura 13– Funções de normalização linearmente decrescente do critério altura geométrica para a unidade de reservação analisada	37
Figura 14– Altura geométrica para AI - R9, normalizada para o intervalo de 0 a 10	38
Figura 15– Funções de normalização linearmente crescente do critério população para a unidade de reservação analisada.	38
Figura 16– Demanda para AI - R9, normalizados para o intervalo de 0 a 10	38
Figura 17– Funções de normalização linearmente crescente do critério distância para a unidade de reservação analisada.	39
Figura 18– Distância dos usuários ao reservatório para AI - R9, normalizados para o intervalo de 0 a 10	39
Figura 19– Funções de normalização linearmente decrescentes do critério domicílios abastecidas pela rede geral para a unidade de reservação analisada.	39
Figura 20– Domicílios abastecidos pela rede geral para AI - R9, normalizados para o intervalo de 0 a 10	40
Figura 21– Uso do solo da cidade de Campina Grande	40
Figura 22– Riscos ao desabast. de água segundo análise multicritério para a AI – R9.	41

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DN	Diâmetro Nominal
ETA	Estação de Tratamento de Água
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SADE	Sistema de Apoio a Decisão Espacial
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SUDA	Sistema Urbano de Distribuição de Água
VCJ	Válvula Controladora de Pressão a Jusante
VCM	Válvula Controladora de Pressão a Montante
VCN	Válvula Controladora de Nível
VCQ	Válvula Controladora de Vazão
VR	Válvula de Retenção

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	14
<b>2.1 Sistema Urbano de Distribuição de Água (SUDA)</b> .....	14
<b>2.2 Gestão do SUDA</b> .....	16
<b>2.3 Geotecnologia e Otimização dos SUDA</b> .....	19
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	22
<b>3.1 Considerações iniciais</b> .....	22
<b>3.2 Área de estudo</b> .....	23
<b>3.3 Descrição do sistema de abastecimento de água de Campina Grande, PB</b> .....	23
<b>3.2.1 Unidades de reservação</b> .....	24
<b>3.2.2 Zonas de pressão</b> .....	27
<b>3.3 Aquisição de dados</b> .....	29
<b>3.4 Geoprocessamento</b> .....	29
<b>3.4.1 Modelo conceitual</b> .....	29
<b>3.4.1.1 Critérios de ponderação</b> .....	29
<b>3.4.2 Modelo espacial</b> .....	31
<b>3.4.2.1 Seleção de dados</b> .....	31
<b>3.4.2.2 Desenvolvimento</b> .....	31
<b>3.4.2.3 Implementação</b> .....	33
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	37
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	42
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	43

## 1 INTRODUÇÃO

O estado de ineficiência de um sistema de abastecimento de água (SAA) ocorre quando esse deixa de cumprir a função a qual foi projetado. Ou seja, passa a não satisfazer as necessidades de seus consumidores em termos de quantidade e qualidade aceitáveis. Com o decorrer do tempo, esses sistemas necessitam de ações que o tornem novamente eficientes. (VENTURINI, 2003)

Souza (2013) elucida que não há uma cultura de incentivo à capacitação técnica para gestão de risco de suprimento de água. Dessa forma o serviço público de distribuição de água tem apresentado dificuldades para determinar um arcabouço robusto de planejamento que comporte as complexidades técnicas, políticas e institucionais para universalização do acesso a água potável. No Brasil, especialmente, esta impropriedade é acentuada em virtude da dinâmica de crescimento populacional e da ocupação urbana ocorrida, principalmente, nas últimas três décadas.

Entretanto, existem técnicas de otimização que são poderosas ferramentas, para solucionar problemas no planejamento e gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água. Essas técnicas têm papel de destaque na análise dos sistemas de recursos hídricos. Dentre elas a modelagem dos sistemas abastecimento de água, que permitem uma melhor compreensão dos problemas do SAA e viabilizam a análise em computadores. E o geoprocessamento, capaz de auxiliar na otimização dos sistemas de abastecimento de água através do sistema de informações geográficas (SIG), que permitem a integração e tratamento das informações georreferenciadas sendo utilizada pelo sistema de apoio a decisão espacial (SADE), no planejamento e gestão do sistema urbano de distribuição de água (SUDA).

Diante do exposto, o presente trabalho objetivou identificar áreas com risco de desabastecimento de água em uma determinada área de influência de um reservatório de distribuição da cidade de Campina Grande, PB, por meio da geração de mapas de espacialização de informações, utilizando métodos e técnicas computacionais de geoprocessamento.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

Os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) são responsáveis pela condução de água em quantidade e qualidade adequada aos usuários para que estes realizem diversas atividades. Em geral, são constituídos, de mecanismos de captação, adutora, estação de tratamento de água, estações elevatórias, reservatório de água tratada e rede de distribuição (redes secundárias). A captação é constituída por um conjunto de estruturas e acessórios responsáveis pela retirada da água do manancial, para conduzi-la ao tratamento. Além de dispor de vazão suficiente, o manancial, deve atender aos critérios de potabilidade estabelecidos na Portaria Nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde. As adutoras são responsáveis pela condução da água para as unidades que estão localizadas a montante da rede de distribuição. Podem ser de água bruta ou tratada e são por gravidade ou recalque. Outro componente do SAA é a estação de tratamento de água que varia de acordo com o tipo de tratamento, a depender da condição qualitativa da água, no entanto possibilita que a água a ser distribuída esteja adequada ao consumo. As estações elevatórias ou de recalque são instalações para bombeamento destinado a transportar água a pontos mais distantes ou mais elevados, aumentar a vazão das adutoras e alimentação direta da rede de distribuição através de boosters. Por fim temos o reservatório de água tratada e a rede de distribuição, que são objeto de análise deste estudo. (SOUZA, 2013)

### **2.1 Sistema Urbano de Distribuição de Água (SUDA)**

O sistema de distribuição é uma rede formada por um conjunto de tubulações, acessórios, reservatório, bombas hidráulicas, e que tem a finalidade de atender, dentro de condições sanitárias, de vazão e pressão convenientes, a cada um dos diversos pontos de consumo de uma cidade ou setor. As bombas têm a finalidade de manter as vazões requeridas com altura manométrica adequada, possibilitando, a operação do sistema. Elas podem ser empregadas em série ou em paralelo, a depender do sistema. Existem vários tipos de bombas empregadas nos sistemas de distribuição de água, mas as centrífugas são mais utilizadas. As válvulas na rede de distribuição possibilitam o controle das condições de pressão e vazão dentro do sistema e possuem diversos modelos vastamente empregados nos sistemas de abastecimento de água.

As válvulas de controle automático são acionadas por uma determinada característica do escoamento, pressão ou vazão. Dentre elas podemos citar as válvulas controladoras de pressão, que mantem uma pressão específica constante, dissipando o excesso de carga. Há dois tipos: a válvula controladora de pressão a jusante (VCJ) ou válvula redutora de pressão e a válvula controladora de pressão a montante (VCM) ou válvula de sustentação de pressão. Outro tipo de válvula de controle automático é a válvula de retenção (VR) projetada a fim de garantir o fluxo unidirecional, sua função é evitar o fluxo em sentido contrário ao pré-estabelecido. Necessitam certa robustez, devido a possibilidade de ocorrência de golpes de aríete. Já as válvulas controladoras de vazão (VCQ), são válvulas automáticas que controlam a vazão que a percorre de forma direta, evitando que supere um valor determinado. As válvulas controladoras de nível (VCN) são instaladas para evitar o extravasamento de água, ao encher o reservatório essas válvulas se fecham automaticamente. Por fim ainda como válvula de controle automático tem a válvula de admissão e expulsão de ar (VA), conhecida como ventosas, são instaladas ao longo da tubulação de adução e de redes de distribuição de água, que têm a função de permitir a saída ou a entrada de ar na tubulação durante a operação do sistema. (VENTURINI, 2003)

Outra válvula de fundamental importância ao sistema de distribuição de água é a válvula de bloqueio. Está presente em quantidade significativa no SUDA, possibilitando que pequenas extensões de trechos do sistema possam ser isoladas. Geralmente esses registros são colocados em locais estratégicos, bloqueando o fluxo em pequenas áreas, sem comprometer o sistema completo, principalmente durante reparos e manutenções. Entre os diferentes tipos, o registro de gaveta é vastamente empregado devido seu desempenho satisfatório, boa estanqueidade, pequena perda de carga quando totalmente aberto e robustez. As válvulas de descarga também são registros de gaveta, sendo utilizadas em pontos baixos da linha adutora, permitindo o escoamento no trecho, quando necessário, para reparos, manutenção preventiva e desinfecção do sistema de adução.

As unidades de reservação, que constituem elemento base dos sistemas urbanos de distribuição de água (SUDA), são implantadas para melhorar a distribuição de água, aproveitar ao máximo a capacidade de acumulação e dar segurança operacional ao sistema. Além disso, as unidades de reservação previnem situações eventuais (falhas no processo de bombeamento, rompimentos na adução e etc.), armazenam importantes volumes de água, frente a circunstâncias críticas (incêndios ou danos na rede) e otimizam o abastecimento evitando bombeamento de água em horário de pico energético. Outra função básica dos

reservatórios é condicionar as pressões na rede de distribuição, além de ser unidade importante para o controle do abastecimento. (MENESES, 2011)

Recomenda-se a disposição de unidades de reservação em locais com elevado valor de altimetria, possibilitando o emprego da gravidade e a garantia das pressões necessárias na distribuição de água, inclusive nas horas de maior consumo. A localização adequada aumenta a confiabilidade operacional e possibilita a otimização das condições de funcionamento do sistema através da economia de energia elétrica. Os reservatórios de distribuição podem ser: enterrados quando introduzidos por completo no terreno, semienterrados quando parcialmente abaixo do nível do terreno, apoiados quando a laje de fundo se encontra apoiada no terreno e elevados quando o reservatório possui estruturas de elevação. A escolha do tipo mais adequado está relacionada às pressões necessárias ao adequado funcionamento do sistema e as características de altimetria da região. Aliado a elevada altimetria é importante que o reservatório esteja o mais próximo possível das zonas de distribuição, evitando perdas de energia ao transportar a água. (CORDÃO, 2009)

As redes gerais de distribuição de água classificam-se de acordo com a disposição das canalizações principais e o sentido de escoamento nas tubulações secundárias. As redes malhadas são constituídas por tubulações principais que formam anéis ou blocos, formando malhas, também conhecido como circuito fechado. As redes ramificadas são aquelas em que há um duto principal longitudinal que se ramifica para ambos os lados, em caso de acidente que interrompa o escoamento em uma tubulação, todo o abastecimento nas tubulações situadas a jusante é comprometido. Dessa forma só é recomendada em casos onde a topografia e os pontos a serem abastecidos não permitam o traçado com rede malhada. Por fim temos as redes mistas, que correspondem à conjugação, numa mesma rede de distribuição de água, das duas configurações anteriores. Quanto ao escoamento das redes secundárias temos que: nas redes malhadas, o escoamento é bidirecional, enquanto que nas redes ramificadas é, normalmente, unidirecional, exceto em casos onde há mais de um ponto de alimentação do sistema. Nas redes mistas, o escoamento é, simultaneamente, bidirecional e unidirecional. (JUSTINO et. all, 2013)

## **2.2 Gestão do SUDA**

No decorrer de sua utilização, os SUDA carecem de ações que o mantenham eficiente, necessitando um gerenciamento adequado. Fatores como custo operacional, segurança e

confiabilidade dos serviços prestados devem ser assegurados de modo a retardar ao máximo os investimentos em futuras expansões. Para uma administração adequada é necessário o conhecimento do sistema, sua automação, setorização e um preciso estudo das perdas de água, principalmente aquelas já tratadas.

Para o conhecimento do sistema é necessária uma auditoria que permita diagnosticar pontos deficientes e identificar as medidas necessárias, para reabilitação do sistema. Algumas medidas são necessárias a fim de diminuir o custo operacional e elevar a liquidez das empresas. Dentre elas, podemos citar: a instalação de macromedidores e hidrômetros, o exame e atualização dos cadastros técnicos e de consumidores, a substituição de tubos e conexões fora de padrão, o exame e retificação das perdas físicas e um treinamento dos profissionais. (VENTURINI, 2003)

A automação dos sistemas de abastecimento é necessária em virtude da complexidade de sua operação em tempo real. Garante a confiabilidade do atendimento dos serviços e a redução do custo operacional, principalmente frente às despesas com energia elétrica e manutenção. Infelizmente essa automação é pouco vista no Brasil, limitando-se muitas vezes aos sistemas elevatórios. O controle operacional, geralmente, ocorre através da transmissão de dados, cabendo ao operador julgar a necessidade de atuação, tornando-se ineficiente para sistemas de grande porte. Operar um sistema necessita a reunião de grande quantidade de informações, para analisá-las e tomar decisões corretas a tempo de evitar seu desequilíbrio. As técnicas de otimização em parceria à automação dos procedimentos operacionais, possibilita o ganho na qualidade do processo, a redução dos custos com energia elétrica e custos operacionais. Além disso, contribuirão para a conservação dos mananciais e da energia elétrica. (VENTURINI, 2003)

A setorização dos sistemas de abastecimento tem se tornado essencial, devido à complexidade física e a grande dimensão desses sistemas. Dessa forma os setores são divididos de acordo com as zonas de pressão e são alimentados por reservatórios elevados ou apoiados, que limitam em cada subsistema as pressões dinâmicas e estáticas, mantendo valores adequados. Entretanto, a interligação dos subsistemas é necessária frente a manobras de emergência e outras medidas técnicas operacionais. Além disso, essa setorização permite condições adequadas a distribuição de água e propicia o combate às perdas. (VENTURINI, 2003)

Essas perdas ocorrem em várias etapas dos sistemas de abastecimento de água. No entanto a maior parte ocorre durante a adução da água tratada, reservação e distribuição.

Sendo necessário, dessa forma, uma atenção maior ao controle de redução de perdas nos sistemas de distribuição de água tratada. Essas perdas são classificadas em real ou aparente e podem ser identificadas através da diferença entre o volume de água tratada colocada à disposição da distribuição e a somatória dos volumes medidos nos hidrômetros dos consumidores finais em determinado tempo. A perda real, também conhecida como perda física, corresponde ao volume de água produzida que não chega ao consumidor final devido a ocorrência de vazamento nas adutoras, redes de distribuição e reservatórios. A perda aparente por sua vez ocorre quando a água é consumida não sendo contabilizada pela companhia de abastecimento. Trata-se de um volume aparentemente perdido, consumido através de ligações clandestinas, imprecisão de hidrômetros e medidores, fraudes e falhas de cadastro comercial. (MELATO, 2010)

Para a redução das perdas reais, algumas medidas básicas podem ser tomadas. Dentre elas, podemos citar: o controle de pressão, o controle ativo de vazamentos, a agilidade e qualidade dos reparos e o gerenciamento da infraestrutura. O controle de pressão objetiva manter valores adequados ao sistema, evitando altas pressões e variações bruscas, garantindo as pressões mínimas adequadas à distribuição. Para isso, geralmente, utiliza-se o emprego de válvulas redutoras de pressão e boosters corretamente instalados. O controle ativo de vazamentos, por sua vez, requer a identificação de vazamentos em fase inicial, utilizando a pesquisa acústica para vazamentos não visíveis, reduzindo o tempo de vazamento e consequentemente o volume perdido. Não basta apenas detectar o vazamento, é necessário agilidade e qualidade dos reparos além de um contínuo gerenciamento da infraestrutura, ligado ao conhecimento das condições dos sistemas de rede de distribuição, permitindo o correto direcionamento dos recursos disponíveis para as áreas onde efetivamente seja necessário, otimizando os resultados. (MELATO, 2010)

No caso das perdas aparentes, outras medidas devem ser adotadas para sua redução, podendo ser citado a redução da imprecisão dos medidores, a qualificação da mão de obra, o combate a fraudes e ligações clandestinas e a melhoria do sistema comercial. A redução da imprecisão dos medidores requer ações na macromedição e micromedição, dentre elas a calibração periódica, as trocas corretivas e preventivas e o dimensionamento adequado dos hidrômetros dos consumidores. Outra medida básica, a qualificação da mão de obra, exige treinamentos especializados aos profissionais da gestão comercial, aos que realizam as leituras nos hidrômetros bem como aqueles que executam manutenções e calibrações, evitando erros na contabilização do consumo. A melhoria da gestão comercial é prioridade e

envolve pessoas, sistemas informatizados e recursos que possibilitem uma efetiva contabilização dos consumos de água tratada e seu faturamento. Por fim temos às fraudes e ligações clandestinas, talvez a medida mais complexa, requer maior atenção em invasões e favelas e envolve a inspeção das ligações suspeitas e a aplicação de medidas de coibição. Essas fraudes são mais comuns em regiões metropolitanas. (MELATO, 2010)

Para a gestão adequada de um sistema de abastecimento de água, muitas variáveis devem ser consideradas. Essas variáveis atualmente podem ser agregadas diretamente em sistemas de informações geográficas (SIG) que são capazes de gerir e analisar grande volume de informações. Essa ferramenta integra as informações, condensando-as na forma de camadas, permitindo o armazenamento, manipulação, análise e exibição das informações com referência geográfica. Dessa forma, o SIG torna-se um instrumento eficaz quando utilizado como sistema de apoio a decisão espacial (SADE), no planejamento e gestão dos SUDA, resultando em benefícios como a minimização de custos, melhor atendimento aos usuários, eficiência na operação e manutenção. Apesar de sua importância, o sistema de informações geográficas (SIG), tem seu uso restrito por falta de informação histórica dos sistemas. A maioria dos SAA não dispõe de informações técnicas e comerciais digitalizadas e possui um banco de dados precário, limitando a utilização do SIG. (MENESES, 2011)

Outra ferramenta importante não só para a gestão, como também para o planejamento e otimização do sistema de abastecimento de água é a modelagem das redes. Nessa prática, todos os componentes (registros, válvulas, reservatórios, trechos, bombas e etc) devem ser representados digitalmente em formato CAD, podendo ser associado a bancos de dados com suas características. Para maior confiabilidade da modelagem é necessário a sistematização dos procedimentos para que haja atualização e revisão da representação digital. (OLIVEIRA *et all*, 2009)

### **2.3 Geotecnologia e Otimização dos SUDA**

As geotecnologias, também conhecidas como geoprocessamento, representa qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados visando a produção de informação e o ganho de conhecimento acerca de um determinado assunto. Trata-se de um conjunto de técnicas com a função de coletar, processar, analisar e oferecer informações com referência geográfica. Para isso se utiliza uma série de ferramentas computacionais denominadas SIG. No caso do planejamento de sistemas de abastecimento de água, essas técnicas integram a

modelagem hidráulica e o sistema de informação geográfica, a fim de produzir informações que auxiliem no apoio a tomada de decisão propiciando uma otimização no planejamento do SAA. Os modelos de simulação de sistemas de distribuição de água examinam duas variáveis principais, a hidráulica e a qualidade da água. A hidráulica analisa o fornecimento de água em quantidade suficiente e a pressão razoavelmente constante em determinadas cotas. A outra variável concerne à habilidade de fornecer uma água de qualidade confiável, para diversos fins.

O EPANET, um exemplo de geotecnologia, executa simulações hidráulicas e de parâmetros de qualidade de água. Além disso, permite a seleção de mecanismos computacionais para simular situações específicas do problema a ser analisado. Dentre suas principais funções na modelagem, podemos citar os cálculos de perdas de cargas (inclusive unitárias), a modelagem do funcionamento de bombas, o cálculos de energia de bombeamento e custos, a modelagem dos principais tipos de válvulas, a modelagem de reservatórios de armazenamento de níveis fixos e variáveis, modelagem das relações entre pressões e vazões efluentes de dispositivos emissores e a verificação da possibilidade de obter condições de operação do sistema com controles simples ou múltiplos. Devido sua eficácia, robustez e capacidade de integração a outros modelos computacionais, diversos sistemas foram desenvolvidos a fim de converter arquivos e integrar geotecnologias. A Pipeline NET, por exemplo, integra EPANET e ArcGIS e auxilia na avaliação de risco de fornecimento público de água em relação a sua qualidade. (CORDÃO, 2009)

Outro tipo de geotecnologia que podemos citar é o ARCGIS. Desenvolvido pela empresa *Environmental System Research Institute* – ESRI, é um conjunto de softwares de SIG de fácil manipulação de dados e boa funcionalidade, que fornece ferramentas baseadas em padrões para realizar análise espacial, armazenamento, manipulação, processamento de dados geográficos e mapeamento. Com ele, é possível a confecção de mapas temáticos e análise espacial. Integra a base de dados, devido à funcionalidade de diversas extensões desenvolvidas para esse software, inclusive permitindo comunicação com o EPANET. O ArcCatalog, um de seus aplicativos, destina-se ao gerenciamento de dados a serem trabalhados (conectar, pré-visualizar, criar arquivos, modificar e etc.). O ArcMap é a aplicação central do ARCGIS, permite trabalhar com os dados e informações geográficas, gerar mapas, e trabalhar outras questões diversas relacionadas à análise espacial. ArcToolBox apresenta diversas ferramentas que são extensão do ArcMap e permitem operações mais elaboradas com dados geográficos. O ArcReader permite visualizar e explorar arquivos já

desenvolvidos. O ArcScene permite elaboração de dados geográficos em 3D, além de criar vídeos e animações. Por fim temos o ArcGlobe, aplicativo que apresenta um globo terrestre onde se pode navegar em três dimensões. (SILVA, 2010)

Os dados processados com apoio dessas geotecnologias geram mapas que através de diferentes técnicas de análise ou inferência espacial permitem a produção de novos mapas. Essas operações realizadas através de um SIG têm sido utilizadas como ferramenta de consolidação e análise de grandes bases de dados sobre sistemas de abastecimento de água, tornando o SIG uma ferramenta do Sistemas de Suporte à Decisão Espacial, auxiliando em todas as etapas de um processo decisório, para apoio no planejamento e gestão de um SUDA.

Essa quantidade expressiva de dados permite uma avaliação multicriterial do objeto de análise, proporcionando aos gestores, técnicos e especialistas uma melhor compreensão e avaliação das problemáticas envolvidas. No entanto toda essa informação acaba sendo expressa em escalas e unidades distintas. Dessa forma, antes da realização de operações algébricas com os dados obtidos é necessário normalizar em uma única unidade os critérios envolvidos, permitindo então uma melhor comparação. Para isso, é necessário ponderar cada um dos critérios avaliados, sendo esses pesos encontrados através do conhecimento especializado além do conhecimento técnico e científico (CORDÃO, 2009)

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Considerações iniciais

Para o funcionamento eficiente do SUDA, alguns estudos recomendam a disposição de unidades de reservação em locais com elevado valor de altimetria, possibilitando o emprego da gravidade e a garantia das pressões necessárias à distribuição de água, inclusive nas horas de maior consumo. Além desse, outros critérios podem ser utilizados em um SIG como um Sistema de Apoio a Decisão Espacial para a locação adequada de reservatórios, de modo a evitar o desabastecimento, bem como através do gerenciamento das múltiplas informações necessárias ao adequado planejamento dos SUDA.

Diante do exposto, considerando como problema de estudo as unidades de reservação do município de Campina Grande, PB, em especial o reservatório R9, a maior unidade de reservação desse sistema, este estudo objetiva demonstrar com o apoio de geotecnologias na espacialização de informações como forma de auxiliar do planejamento destes sistemas.

Estas informações serão utilizadas em inferências espaciais através de um SIG para obter respostas que auxiliarão no planejamentos dos SUDA, a exemplo, da geração de áreas susceptíveis a desabastecimento, como demonstrado a seguir, no modelo conceitual do estudo.

Neste sentido, o estudo do problema proposto adotou as etapas seguintes (Figura 1).

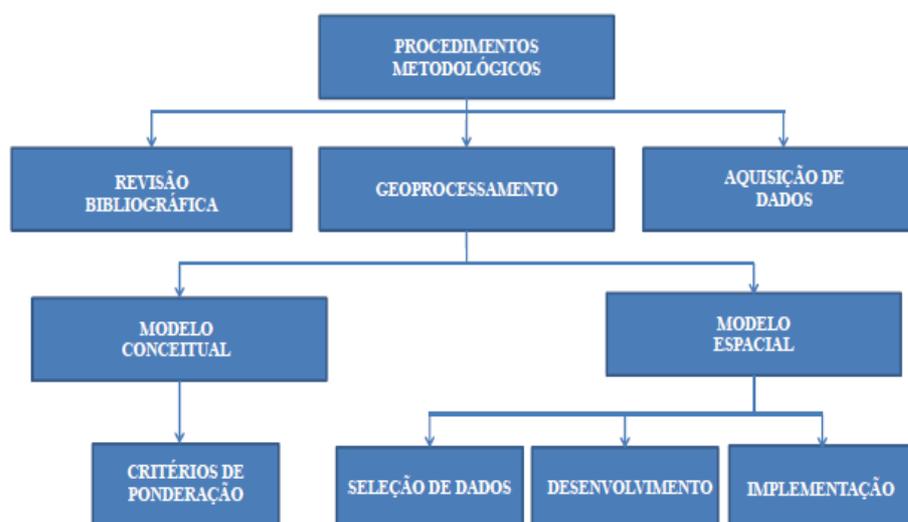


Figura 1: Modelo esquemático dos procedimentos metodológicos

### 3.2 Área de estudo

Para este estudo, utilizou-se a zona urbana de Campina Grande – PB (Figura 2), localizada a 120 km da capital paraibana, João Pessoa. Esse município possui a segunda zona urbana mais populosa do estado, localizando-se a 7°13'11" de latitude Sul e 35°52'11" de latitude Oeste. Segundo o IBGE (2010) possui aproximadamente 594 km<sup>2</sup> de área e uma população de aproximadamente 385.213 habitantes.

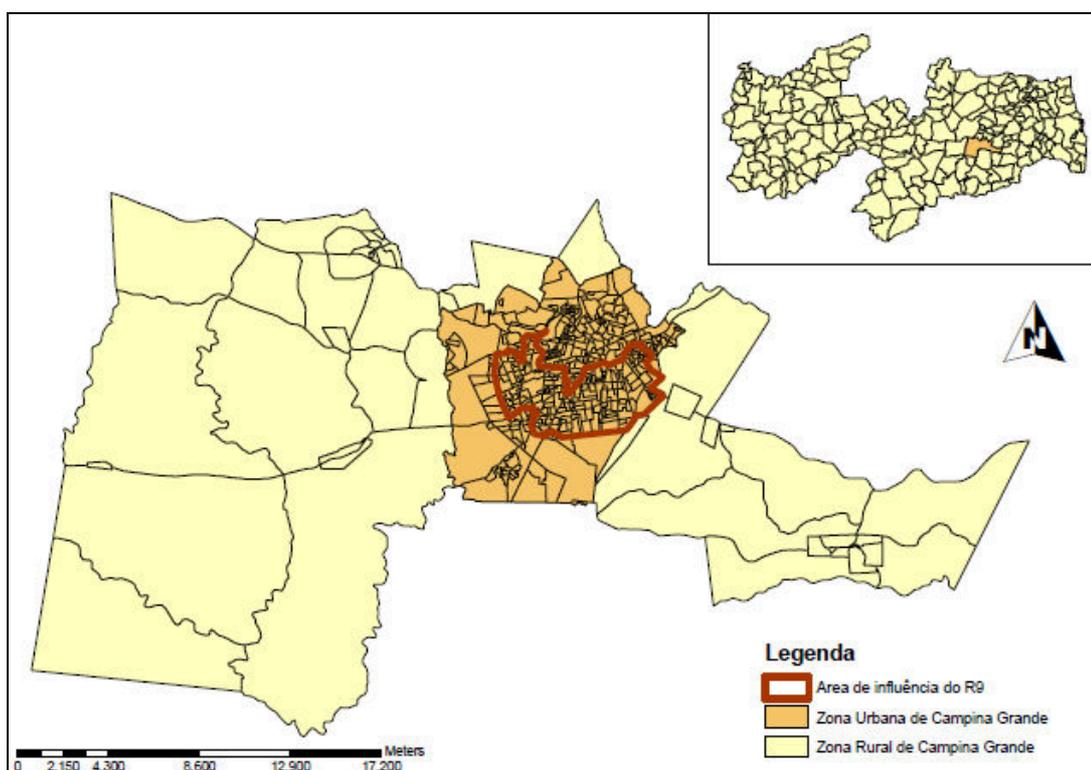


Figura 2: Área de estudo – zona urbana de Campina Grande, PB.

### 3.3 Descrição do sistema de abastecimento de água de Campina Grande, PB.

A água que abastece o município de Campina Grande é proveniente do açude Epitácio Pessoa (Boqueirão), cuja capacidade máxima de reservação chega a 411.686.287 m<sup>3</sup>. A água bruta é recalçada a estação de tratamento de água (ETA-Gravatá), localizada em Gravatá no município de Queimadas, por duas adutoras de água bruta, ambas executadas em tubos de aço e diâmetros DN 900 e 800. Após o tratamento a água é recalçada para o município de Campina Grande aos reservatórios R5 e R9. Para isso existem duas estações elevatórias, da primeira elevatória partem duas adutoras em aço: uma com DN 500 e outra com DN 700 em

funcionamento desde os anos de 1957 e 1972, respectivamente. Da segunda elevatória, parte apenas a adutora DN 800, executada em ferro fundido no ano de 1994 (Figura 3). Devido ao crescimento urbano significativo, apesar de ir contra os princípios do projeto inicial, várias derivações foram realizadas nas três adutoras de água tratada citadas.

A partir do SAA que abastece Campina Grande, outros municípios são abastecidos, dentre eles Queimadas, Barra de Santana e Caturité que possuem adutoras próprias e Alagoa Nova, Lagoa Seca, São Sebastião de Lagoa de Roça, Matinhas e Pocinhos que são abastecidas a partir do sistema de distribuição de água de Campina Grande. A figura 3 apresenta um arcabouço, da situação mencionada. Além disso, com a expansão urbana acelerada dos municípios, novas adaptações e expansões são realizadas constantemente. (MENESES, 2011)

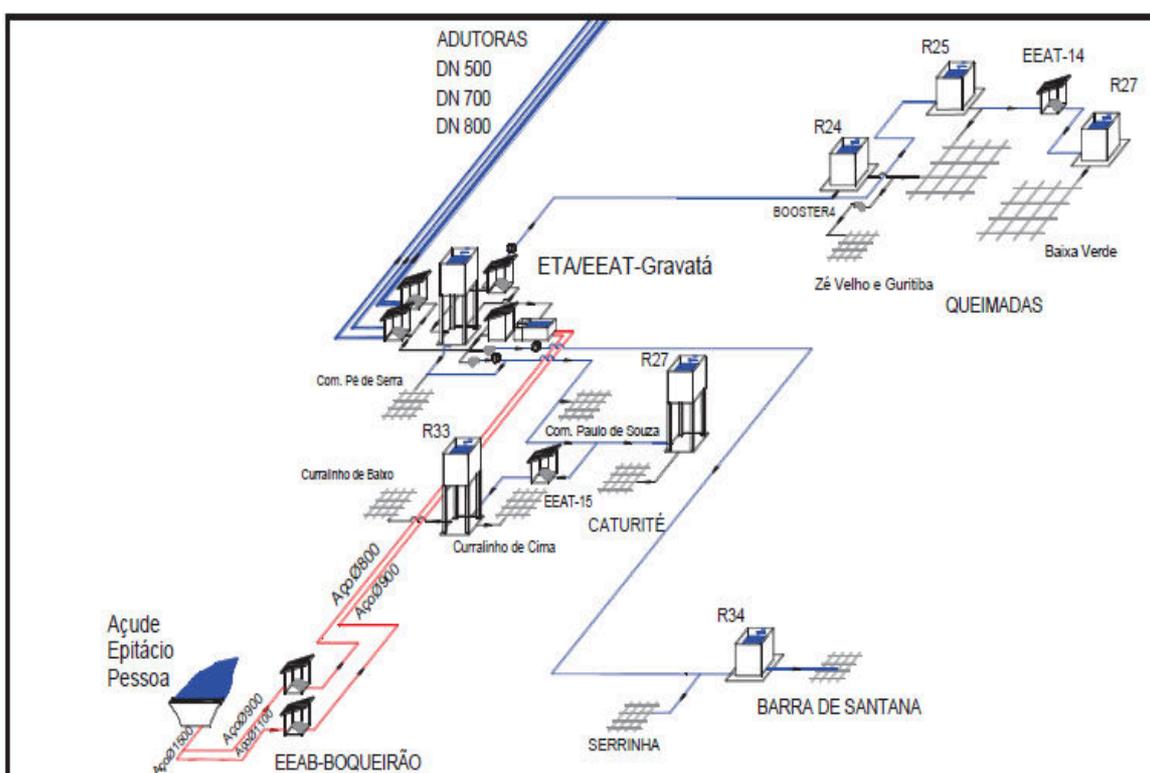


Figura 3: Manancial e ETA do SAA de Campina Grande ( MENESES, 2011)

### 3.2.1 Unidades de reservação

Segundo Meneses (2011), aproximadamente 39 reservatórios, especializados conforme as figura 04, fazem parte do sistema de distribuição de água de Campina Grande, entretanto 03 encontram-se inativos, 04 desativados. Para o primeiro caso, a inatividade ocorre devido à falta de necessidade do uso do reservatório no cenário atual, no segundo caso,

os reservatórios são desativados pela expansão constante do sistema. Considerando apenas os reservatórios ativos, o sistema de reservação de Campina Grande é capaz de armazenar mais de 59000 m<sup>3</sup> de água, destacando-se o R9 e R5, que armazenam 29000 m<sup>3</sup> e 8000 m<sup>3</sup> respectivamente, através dos quais toda a água é recebida da ETA e redistribuída para os outros componentes do sistema. A Tabela 1, apresenta um panorama geral das unidades de reservação do SUDA – CG (Figura 4).

Tabela 1: Características dos reservatórios do SUDA – CG (elaborado a partir de dados de MENESES, 2011)

Reservatório	Capacidade (m <sup>3</sup> )	Situação	Cotas (m)		Tipo
			Máximo	Mínimo	
R0 - ETA Gravatá		Ativo			Apoiado
RLF - ETA (Lavagem de filtros)					Elevado
R1 - Alto Branco	3080	Ativo	563	560	Semi-enterrado
R2 – Centro	2290	Ativo	554,8	552	Semi-enterrado
R3 - Monte Santo	500	Desativado	575,17	572	Semi-enterrado
R4 – Palmeira	10000	Ativo	607,34	602,34	Apoiado
R5 – Prata	8000	Ativo	567	563	Semi-enterrado
R6 - Dist. Industrial	400	Ativo	530,5	524,7	Elevado
R6T - Dist. Industrial	2000	Desativado	501,45	498,45	Semi-enterrado
R7 - Bairro das Nações	200	Ativo	616,36	612,56	Elevado
R8 - Presidente Médici	200	Desativado	514,65	509,6	Elevado
R9 - Santa Rosa	29000	Ativo	554	548,5	Apoiado
R10 – Bodocongó	2000	Ativo	571	566	Apoiado
R11 – Bodocongó	250	Ativo	616,5	613	Elevado
R12 - São Januário	200	Ativo	612,77	608,77	Apoiado
R13 - São Januário	250	Ativo	665	662	Elevado
R14 - São José da Mata	300	Ativo	704,5	669	Elevado
R15 – Mirante	350	Ativo	517,5	513	Apoiado
R16 - Malvinas	500	Desativado	554	549	Elevado
R17 - Dist. Indust. Queimadas	600	Ativo	535	530	Elevado
R18 - Conjunto Multirão	200	Ativo	620	616	Elevado
R19 - Alça Sudoeste	250	Ativo	512	508	Elevado
R20 - Galante	150	Ativo	417	414	Elevado
R21 - Alça Sudoeste	150	Inativo			Elevado
R28 - Nenzinha C. Lima	300	Inativo			Apoiado
R28 - Nenzinha C. Lima	200	Ativo			Elevado
R29 - Cuités	300	Ativo		677	Elevado
R30 - Jardim Continental		A executar			
R31 - Conjunto Glória		Inativo			Elevado
R32 - Distrito de Jenipapo	150	Ativo	705,5	701,1	Elevado
R35 - Residencial Privê		Ativo			Elevado

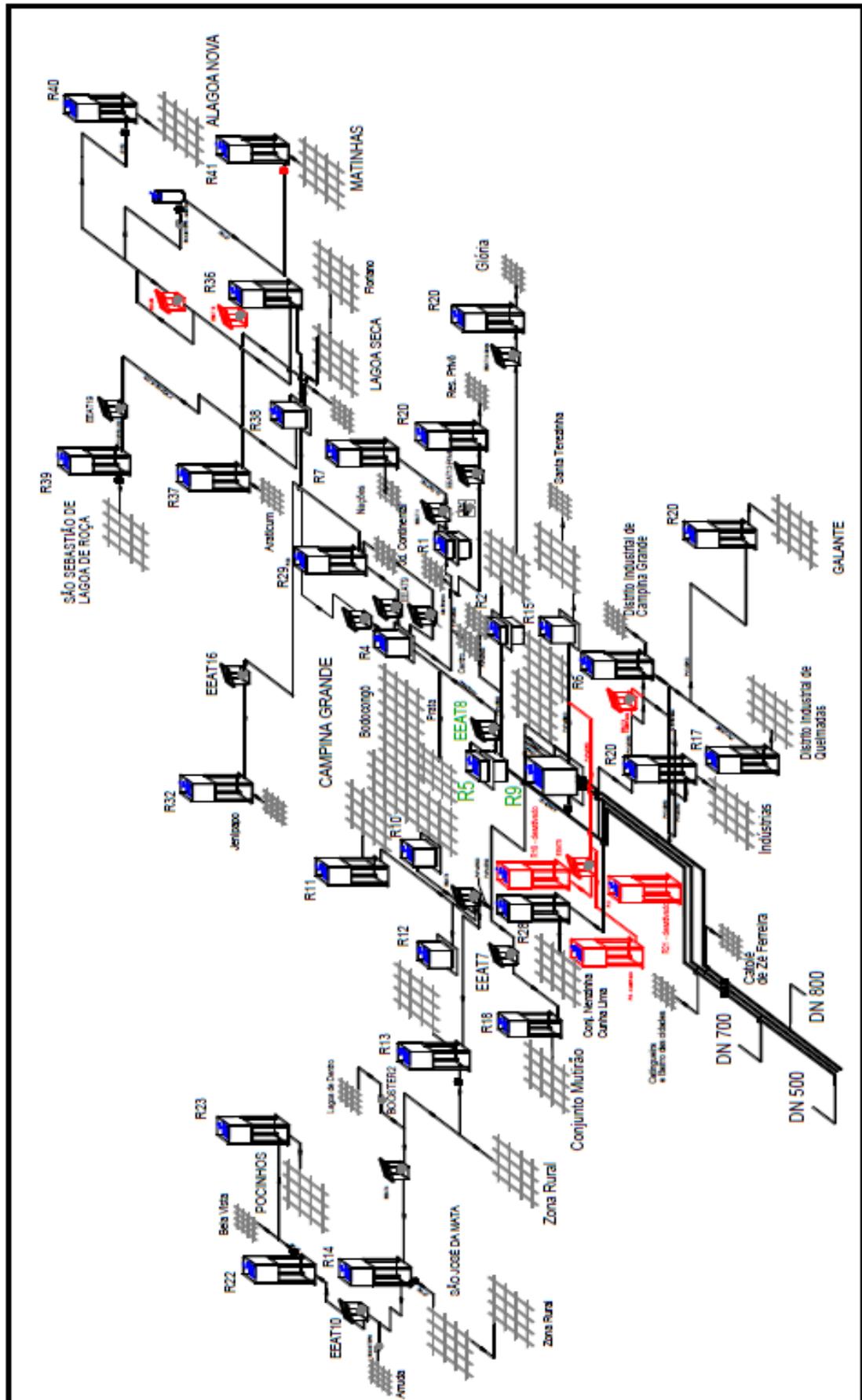


Figura 4: Esquema representativo do SUDA-CG (MENESES, 2011)

### 3.2.2 Zonas de pressão

Para a elaboração do sistema de distribuição propriamente dito, um fator preponderante foi o perfil topográfico do município. Conforme evidenciado na Figura 5, a zona urbana do município de Campina Grande apresenta diferenças de cotas significativas, podendo chegar a 200 m, a diferença entre os pontos mais baixos e mais altos. Dessa forma o sistema de distribuição divide-se em zonas de pressão, a depender das cotas de cada região. Na zona sul e sudoeste do município, os terrenos possuem cotas predominantemente abaixo de 500m. Entretanto na zona norte as cotas dos terrenos, em sua maioria, estão acima de 550 m, chegando a mais de 600 m em alguns casos. Já a região central as cotas do terreno variam entre 500 e 550 m.

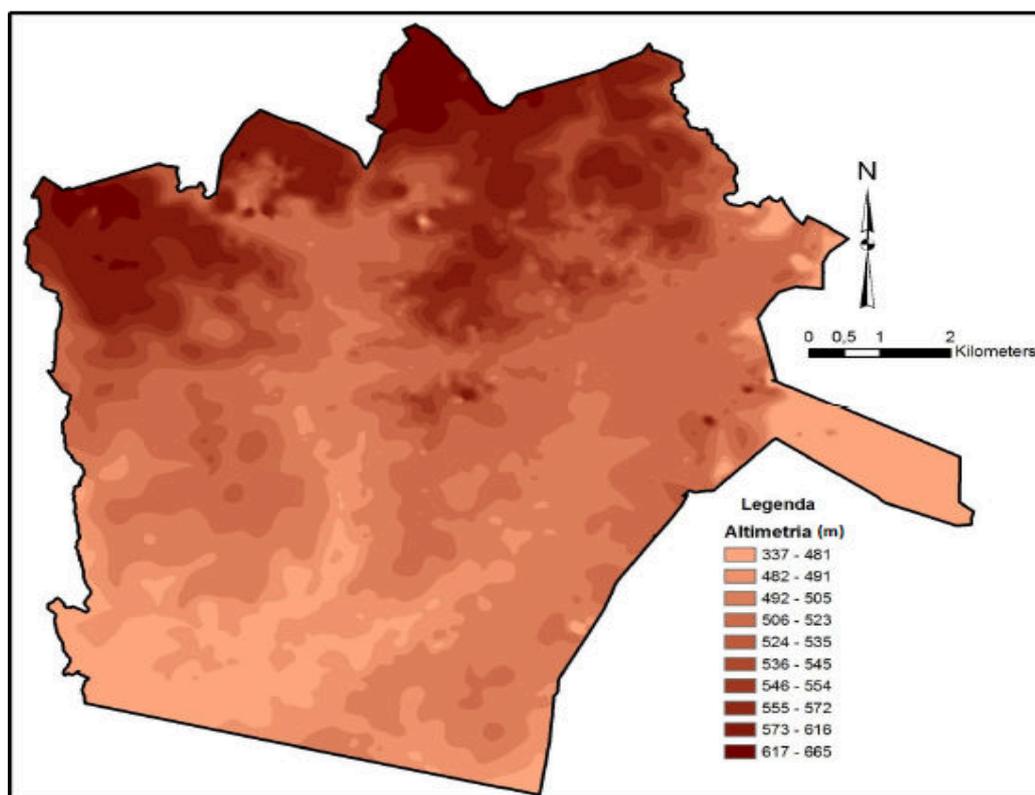


Figura 5: Modelagem Numérica do Terreno (CORDÃO, 2009)

Desse modo, o SUDA de Campina Grande é dividido em quatro zonas de pressão A, B, C e D. Essas informações constam para o ano de 2009. A unidade de reservação R9 é abastecido pelas três adutoras do sistema e abastece as zonas de pressão A e D (Figura 6). As zonas B e C são abastecidas pela unidade de reservação R5, que recebe água apenas a partir da adutora de DN 700. Essas zonas além de abastecer alguns bairros da cidade, alimenta o subsistema Brejo, que

corresponde as cidades Alagoa Nova, Lagoa Seca, Matinhas e São Sebastião de Lagoa de Roça. A Tabela 2 apresenta os principais bairros de cada zonas de pressão do sistema atual, as quais podem ser atualizadas, pois as zonas de pressão expandem de acordo com a expansão da zona urbana.

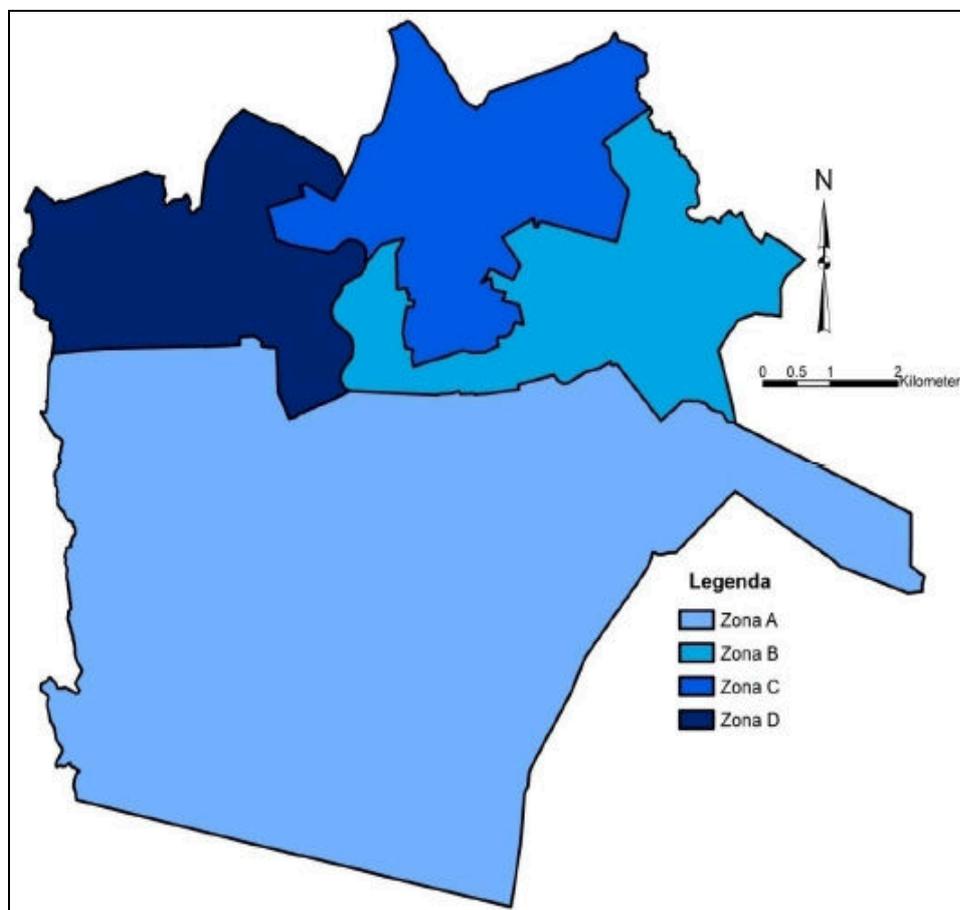


Figura 6: Zonas de Pressão do Sistema estudado (CORDÃO, 2009)

Tabela 2: Zonas de pressão SUDA – CG (elaborado a partir de dados de MENESES, 2011)

Principais bairros de Campina Grande por zonas de pressão		
Zona A	Zona B e C	Zona D
Catolé	Alto Branco	Bodocongó
Cruzeiro	Centenário	Jeremias
Dist. Industrial	Centro	São Januário
J. Quarenta	Conj. dos Professores	Severino Cabral
Jardim Paulistano	Cuités	
José Pinheiro	Juracy Palhano	
Liberdade	Monte Santo	
Malvinas	Nações	
Mirante	Palmeira	
Pres. Médici	Prata	
Santa Rosa	Prata	
	São José	
	Sto. Antonio	

### **3.3 Aquisição de dados**

Fora utilizado dados de referências, tais como CORDÃO, 2009 e MENESES, 2011. Além de dados proveniente do censo IBGE (2010). Em seguida, os dados coletados foram agrupados em uma base de dados, a depender de sua topologia, favorecendo a organização destes.

### **3.4 geoprocessamento**

#### ***3.4.1 Modelo conceitual***

Ao iniciar uma análise com o apoio de um SIG, torna-se necessário a elaboração de um modelo conceitual de dados para direcionar a construção do modelo propriamente dito e enfatizar os critérios e caminhos utilizados para a elaboração do mesmo. Além de simplificar o entendimento, o modelo conceitual auxilia na tomada de decisão, pois filtra as informações relevantes provenientes do grande volume de dados.

O modelo apresentado foi desenvolvido a partir de pesquisas bibliográficas e levantamento de dados. Possibilitando dessa forma, elencar alternativas que representam uma possibilidade de análise do problema tratado. Posteriormente, elencou-se critérios para avaliação, definidos como atributos mensuráveis das alternativas consideradas.

##### **3.4.1.1 Critérios de ponderação**

A variedade de critérios requeridas no planejamento de um SUDA pode ser representada como planos de informações e auxílio de um SIG. Para a definição desses critérios é necessário o reconhecimento e definição de um problema. Para este estudo, o problema é estabelecer possíveis áreas de risco ao desabastecimento de água na área de influencia de abastecimento direto da unidade de reservação R9, no município de Campina Grande – PB.

Após a identificação completa do problema, a análise deve se concentrar no conjunto de critérios a serem avaliados. Após revisão de literatura definiu-se os critérios de ponderação para análise. Vale ressaltar que a bibliografia existente, apresenta terminologias diferenciadas

para denominar os critérios utilizados na avaliação. A seguir estão citados os critérios utilizados neste estudo.

- **Altura geométrica**

Segundo a NBR 12.218/1994 que normatiza os projetos de rede de distribuição de água para abastecimento público prevê a pressão estática nas tubulações distribuidoras variando entre 100kPa e 500kPa. Esses valores garantem que a água chegue aos pontos de consumo, com uma carga suficiente para vencer perdas localizadas ou contínuas no sistema. Na falta de disponibilidade de dados de pressão para o sistema em análise, optou-se por levantar a altura geométrica na área de estudo. Trata-se da diferença de cotas entre a cota máxima de água no reservatório e a localidade abastecida.

- **Demanda**

Para um adequado dimensionamento dos equipamentos de um sistema urbano de distribuição de água é necessário definir a demanda de água requerida pela região a ser abastecida. Para se estimar essa demanda é necessário conhecer o consumo per capita da região, bem como a existência de consumidores especiais como indústrias, comércios e hospitais. Dessa forma o levantamento da população residente e uma estimativa futura dessa população são de extrema importância para o dimensionamento do sistema. Quando não há informações precisas de demanda de água, a população pode representar a demanda de água potencial.

- **Distância do usuário ao reservatório**

As unidades de reservação possuem uma área de influencia ao abastecimento no SUDA. Dentre diversos fatores que estabelecem os limites dessa área, podemos destacar a distância. Essa variável apresenta importância significativa no sistema, quanto mais distante a zona de oferta, maior será o esforço em atender adequadamente a demanda. Esse fato ocorre devido à perda de energia da água ao longo percurso. Vários fatores influenciam essa perda de energia, dentre elas o número de singularidades (conexões, curvas, impurezas) presente no sistema.

- **Domicílios abastecidos pela rede geral**

As informações sobre os domicílios atendidos pela rede geral de abastecimento de água são de extrema importância para o levantamento de risco ao desabastecimento. Esse dado espacializado podem indicar sinais de áreas que não são atendidas pelo sistema e verificar as causas dessa situação. As informações por setor censitário do IBGE (2010) apresenta diversas informações sobre as formas de abastecimento dos domicílios e sobre a existência de ligações a rede geral.

### ***3.4.2 Modelo espacial***

#### **3.4.2.1 Seleção de dados**

Uma seleção inicial de dados é imprescindível para a trabalhabilidade em ambiente SIG. Os diversos formatos de arquivos devem ser compatibilizados para sua utilização em ambiente SIG. Outro fator importante é a projeção de seus dados, para isso é necessário que os arquivos estejam num mesmo sistema de referência espacial, com unidades, escala e resolução espacial compatível. Dessa forma todas as informações geradas em mapas temáticos no presente estudo apresentam resolução espacial de 5x5 metros e projeção cartográfica UTM (Universal Transverse Mercator).

O SIG utilizado pertence à família ESRI (Environmental Systems Research) caracterizada pelo software ArcGIS na sua versão 10.2.2. Com essa geotecnologia utilizaram-se informações sobre números populacionais e número de domicílios atendidos pela rede geral através dos setores censitários do IBGE (2010), para a elaboração de mapas temáticos e planilhas.

#### **3.4.2.2 Desenvolvimento**

Para o melhor entendimento dos procedimentos realizados para obtenção dos resultados desse trabalho, foi elaborado um diagrama esquemático apresentado nas Figuras 7 e 8.

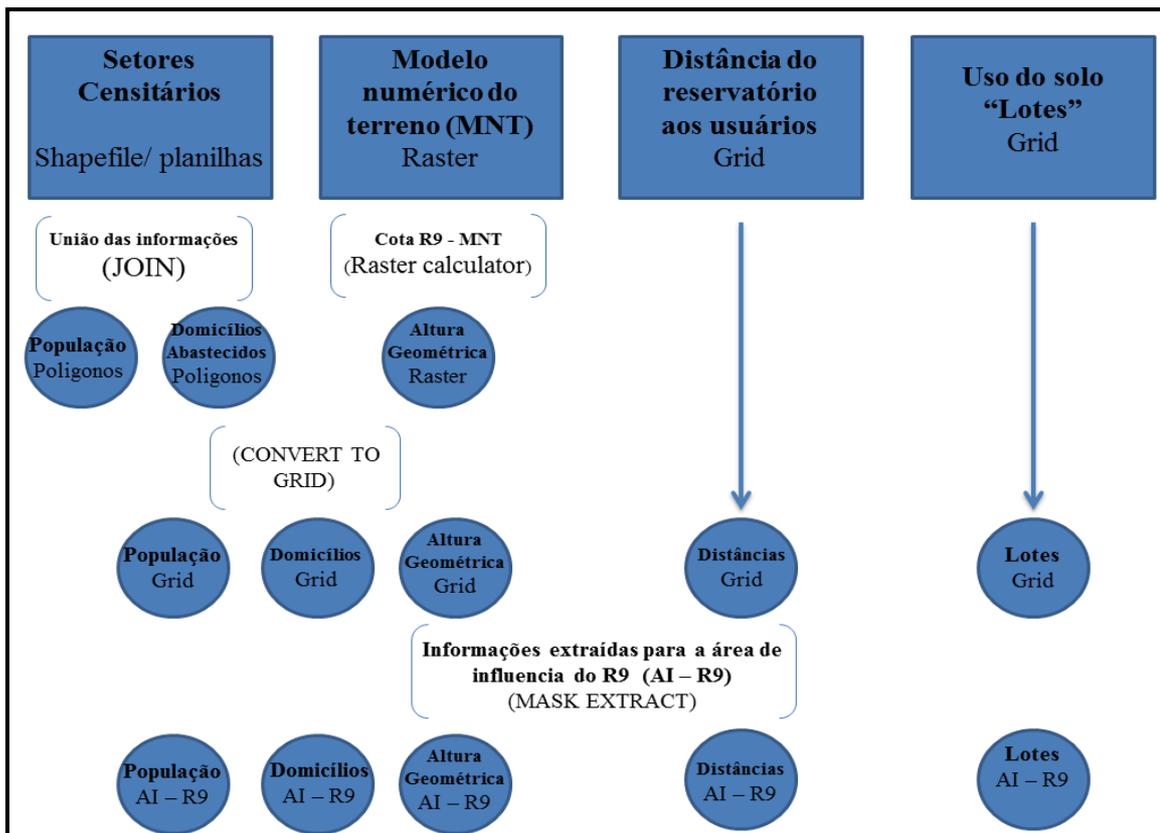


Figura 7: Modelo esquemático dos procedimentos executados para a modelagem espacial de áreas com risco ao desabastecimento na AI - R9.

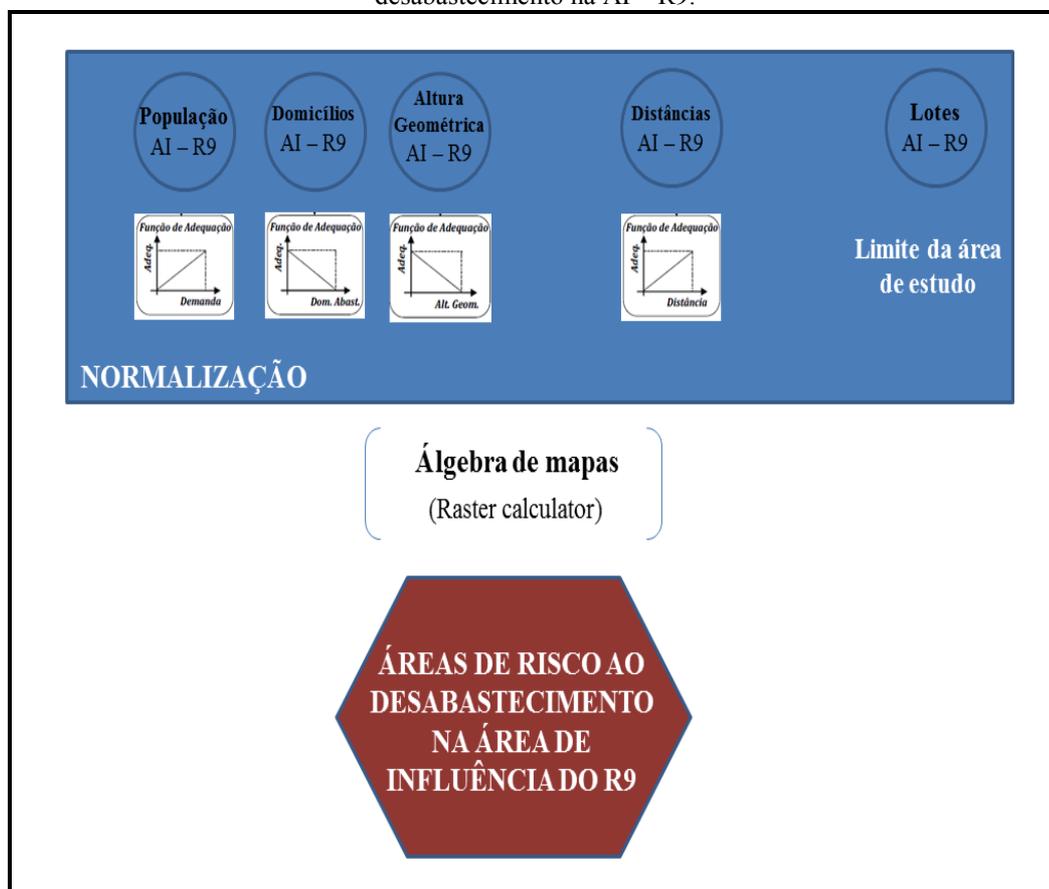


Figura 8: Modelo esquemático dos procedimentos executados para a modelagem espacial de áreas com risco ao desabastecimento na AI - R9. (Continuação)

### 3.4.2.3 Implementação

Através dos procedimentos apresentados no modelo esquemático da modelagem espacial (Figuras 7 e Figura 8), foram elaborados mapas temáticos com os critérios definidos no modelo conceitual deste estudo, demonstrando um pouco da importância do Sistema de Informação Geográfica como ferramenta do sistema de apoio a decisão espacial. Esses mapas constituem importante instrumento para um adequado planejamento de futuras expansões do sistema urbano de distribuição de água (SUDA) de Campina Grande.

As informações são apresentadas em Planos de Informações (PI) utilizados na análise do problema. Algumas informações foram geradas para toda a área urbana de Campina Grande, PB. No entanto optou-se como área de estudo, por razões diversas, a área de influência da unidade de reservação R9. Para obter os PI para os limites de áreas referidos, utilizou-se a função de extração de máscara (extract mask), presente na maioria dos SIG, inclusive no ArcGIS. Dessa forma, no início das atividades utilizou-se a área de influência do reservatório R9 em arquivo vetorial e adicionou-se a representação do reservatório através de suas coordenadas (x,y). Para cada critério de ponderação definido, realizou-se um procedimento específico.

- **Altura geométrica**

A partir do Modelo Numérico do Terreno do município de Campina Grande e da cota máxima do nível de água do reservatório R9, utilizou-se a função “Raster Calculator” para determinar a altura geométrica na AI – R9. Após a operação algébrica realizada, obteve-se um mapa temático com os dados de altura geométrica especializados para a AI – R9 (Figura 9).

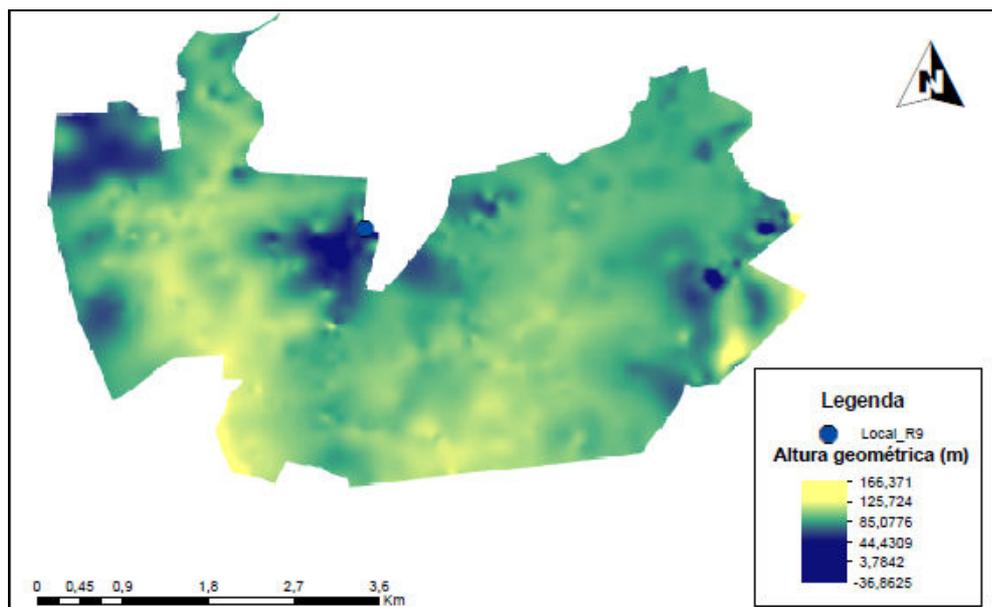


Figura 9: Altura geométrica para a área de influência do reservatório R9 (CORDÃO, 2009)

- **Demanda**

A demanda do sistema de abastecimento é fundamental para o dimensionamento e ampliação dos sistemas de abastecimento, na ausência de um valor preciso optou-se pela utilização da população como estimativa. A partir do shapefile dos setores censitários do município e da planilha Pessoa 3, do IBGE (2010) foi possível gerar um mapa temático com os dados de população especializados. Inicialmente através do comando “Join” foi possível especializar a informação citada, na área do município, gerando um arquivo vetorial. Posteriormente pelo comando “Conversion tools”, transformou-se o arquivo para o formato raster. Nesse formato através do comando “extract mask” foi possível selecionar nossa área de estudo, AI – R9. Dos procedimentos citados, gerou-se o mapa de demanda considerando a população como dado (Figura 10). Ressalta-se que considerou aqui a demanda de água do reservatório equivalente aquela definida pela população dentro da área de influência. Ou seja, o reservatório atende apenas dentro deste limite.

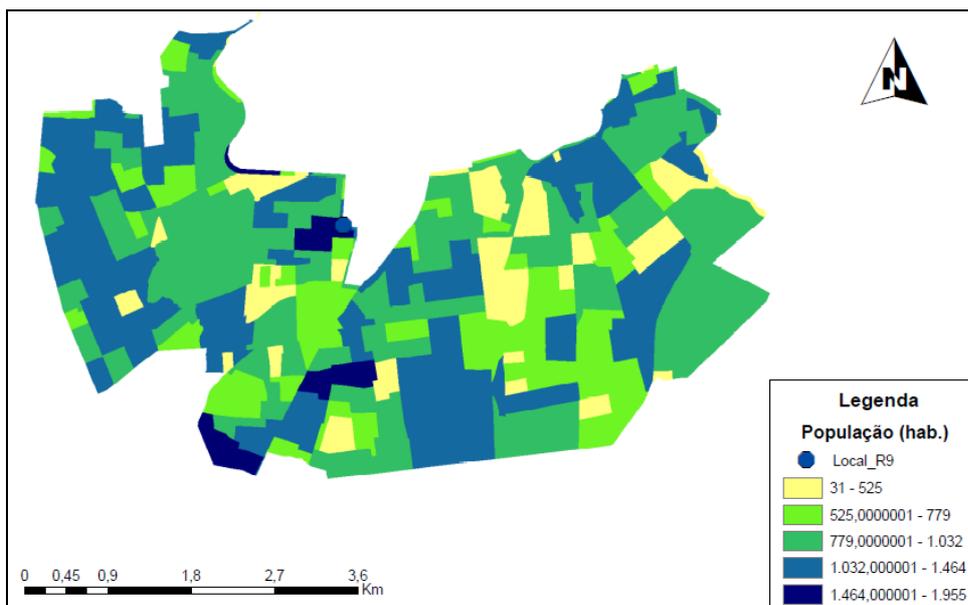


Figura 10: População (demanda) para a área de influência do reservatório R9 (IBGE, 2010)

- **Distância do usuário ao reservatório**

A partir das coordenadas (x,y) do reservatório R9 e do limite da área de influencia do reservatório citado, foi possível estimar a distância do usuário ao reservatório, gerando o mapa temático de distâncias (Figura 11).

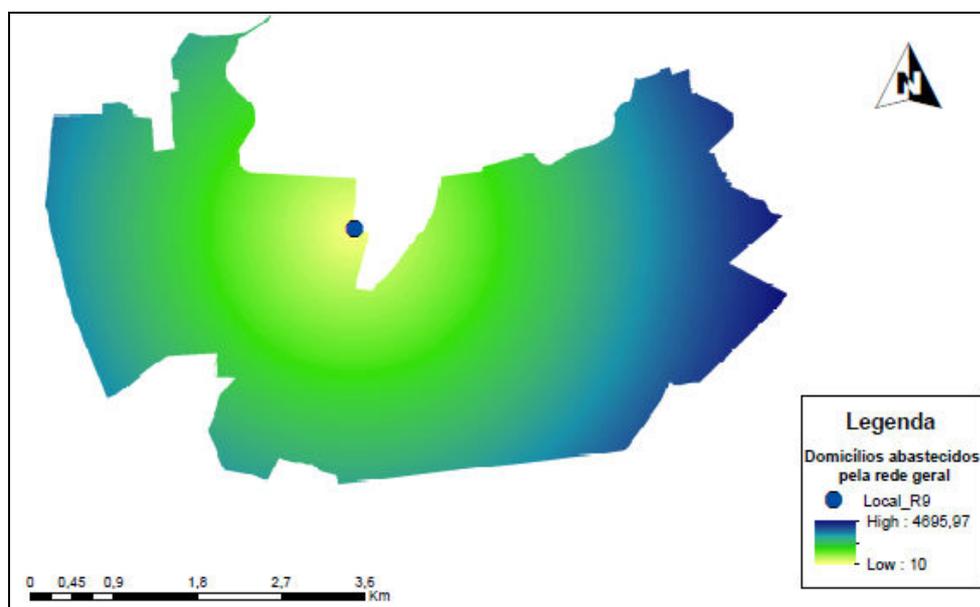


Figura 11: Distância dos usuários a unidade de reserva (CORDÃO, 2009).

- **Domicílios abastecidos pela rede geral**

A partir do *shapefile* dos setores censitários do município e da planilha Domicílios 1, do IBGE (2010), foi possível gerar um mapa temático com os dados de domicílios atendidos pela rede geral especializados. Inicialmente através do comando “Join” foi possível especializar a informação citada, na área do município, gerando um arquivo vetorial. Posteriormente pelo comando “Conversion tools”, transformou-se o arquivo para o formato raster. Nesse formato através do comando “extract mask” foi possível selecionar nossa área de estudo, AI – R9. Dos procedimentos citados, gerou-se o mapa de domicílios atendidos pela rede geral (Figura 12).

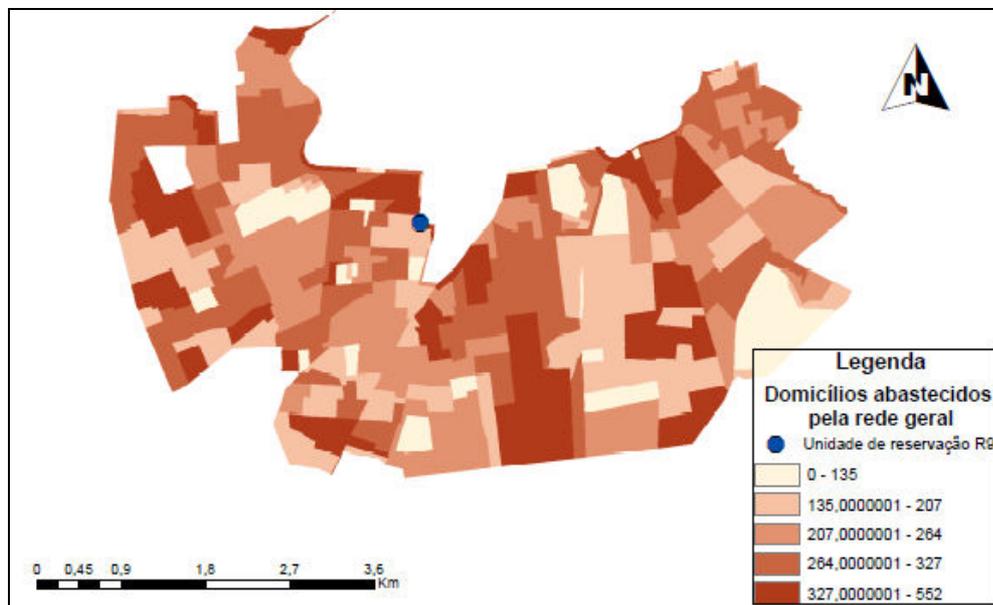


Figura 12: Domicílios abastecidos pela rede geral (IBGE, 2010).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o planejamento adequado de sistema de abastecimento de água ou até mesmo para sua expansão, encontrou-se na modelagem uma ótima técnica de auxílio. Uma revisão bibliográfica aliada à utilização de geotecnologias propiciam a otimização dos projetos e do sistema como um todo. Obtidas as informações a respeito da área de estudo e determinando os critérios considerados relevantes dentro das limitações de acesso a informação, foi possível a determinação das regiões mais propícia ao desabastecimento na área de estudo, bem como apresentar a importância dessas ferramentas para auxílio na gestão e planejamentos dos sistemas de abastecimento.

A partir das informações geradas, objetivando-se o levantamento de áreas de risco ao desabastecimento foi necessária a normalização dos mapas obtidos. Essa normalização converte a unidade das informações geradas (mapas temáticos) tornando possível a combinação dessas variáveis para se produzir um resultado. Como variável de adequação considerou-se uma unidade com variação de 0 a 10, quantificando os critérios de ponderação para o risco ao desabastecimento. A adequação foi classificada em faixas para caracterizar a hipótese formulada: baixo, médio e alto. Para essa normalização utilizou-se funções, obtidas com a comparação entre os valores máximos e mínimos de cada variável e a variação de 0 a 10 da variável de adequação.

Para a variável altura geométrica, considerou-se que quanto menor seu valor em determinada região maior seria o risco ao desabastecimento. Dessa forma, a Figura 13 apresenta a função de normalização utilizada e a Figura 14 apresenta o mapa temático normalizado.

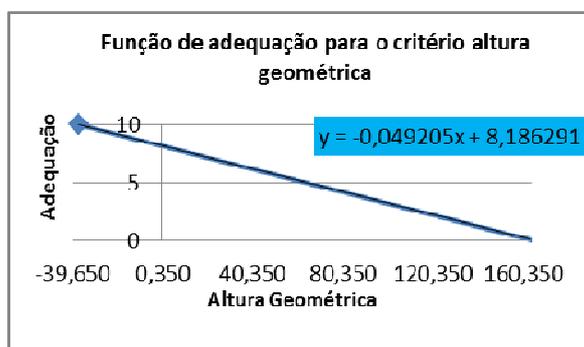


Figura 13: Funções de normalização linearmente decrescente do critério altura geométrica para a unidade de reserva analisada.

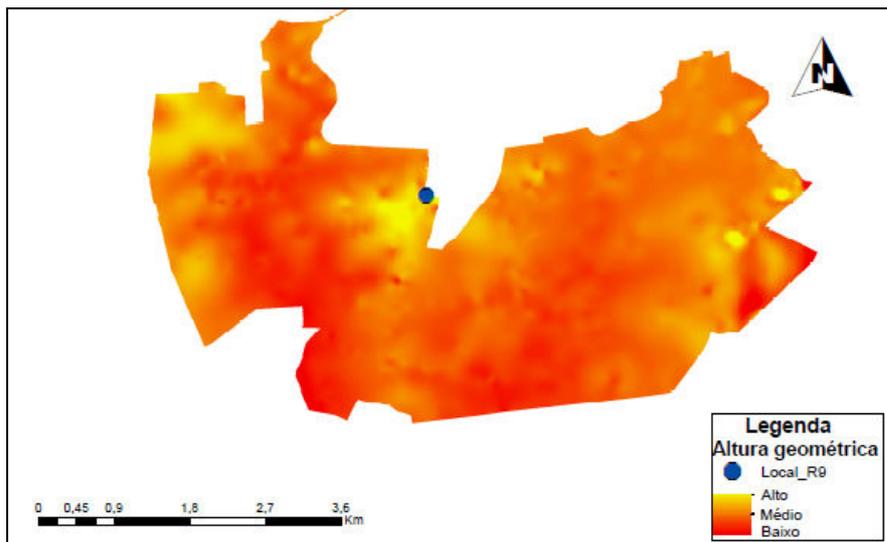


Figura 14: Altura geométrica para AI - R9, normalizada para o intervalo de 0 a 10.

Para a variável demanda, com variável população consumidora, considerou-se que quanto maior seu valor em determinada região maior seria o risco ao desabastecimento. Dessa forma, a Figura 15 apresenta a função de normalização utilizada e a Figura 16 apresenta o mapa temático normalizado.

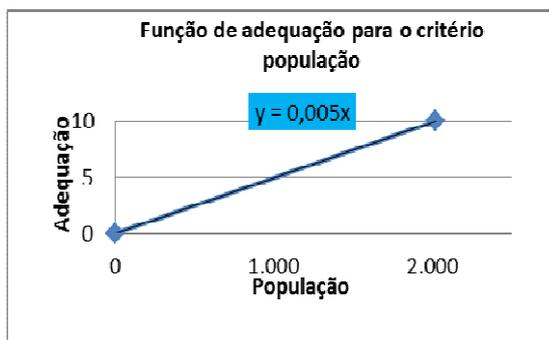


Figura 15: Funções de normalização linearmente crescente do critério população para a unidade de reserva analisada.

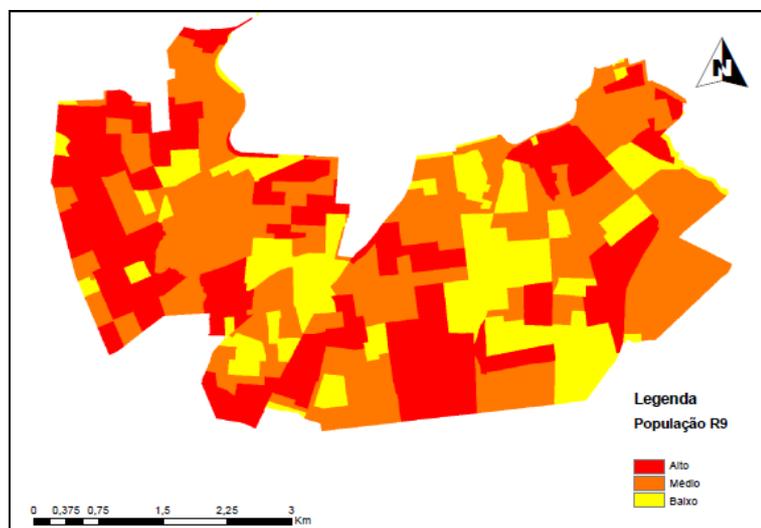


Figura 16: Demanda para AI - R9, normalizados para o intervalo de 0 a 10.

Para a variável distância, na relação entre usuários e reservatório, considerou-se que quanto maior seu valor em determinada região maior seria o risco ao desabastecimento. Dessa forma, a Figura 17 apresenta a função de normalização utilizada e a Figura 18 apresenta o mapa temático normalizado.

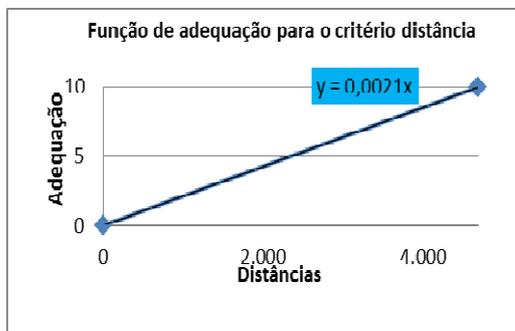


Figura 17: Funções de normalização linearmente crescente do critério distância para a unidade de reservação analisada.

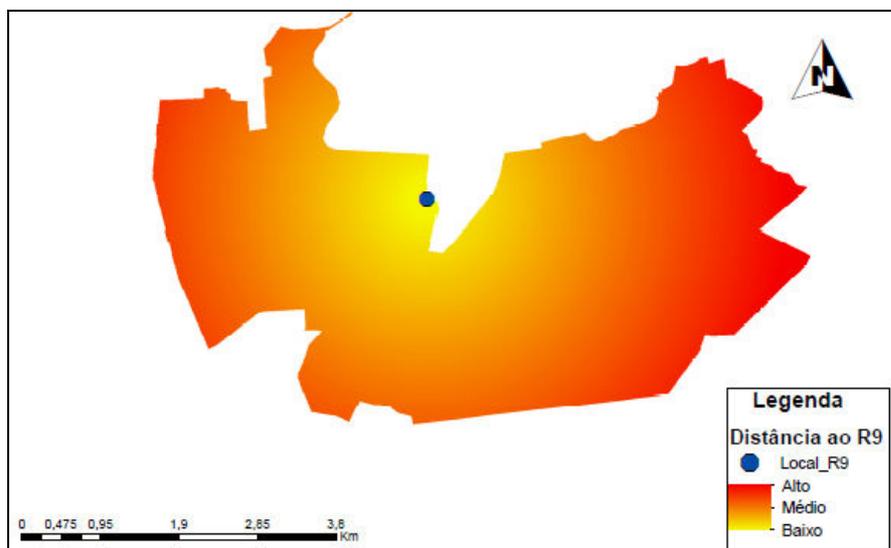


Figura 18: Distância dos usuários ao reservatório para AI - R9, normalizados para o intervalo de 0 a 10

Para a variável domicílios abastecidos pela rede geral, considerou-se que quanto menor seu valor em determinada região maior seria o risco ao desabastecimento. Dessa forma, a Figura 19 apresenta a função de normalização utilizada e a Figura 20 apresenta o mapa temático normalizado.

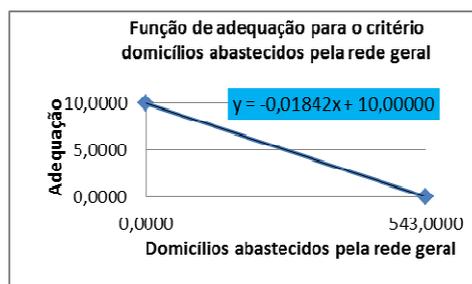


Figura 19: Funções de normalização linearmente decrescentes do critério domicílios abastecidas pela rede geral para a unidade de reservação analisada.

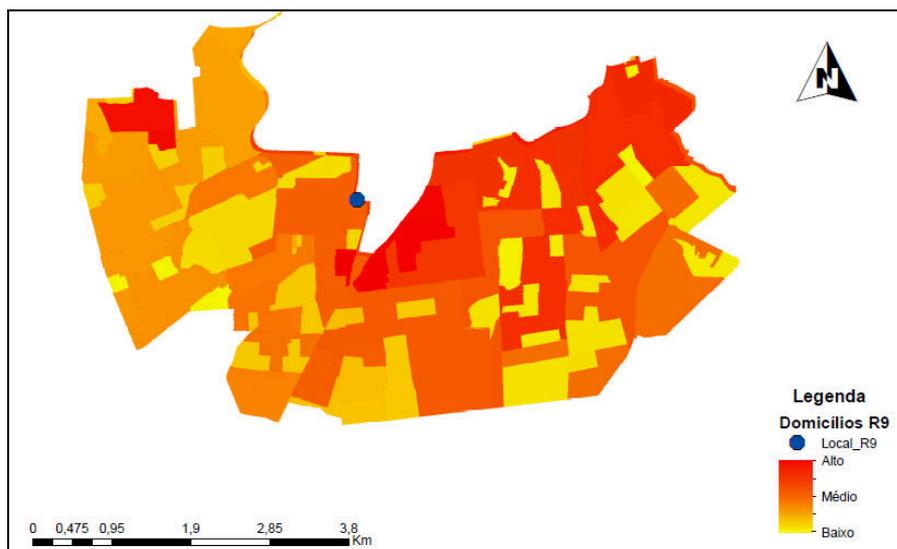


Figura 20: Domicílios abastecidos pela rede geral para AI - R9, normalizados para o intervalo de 0 a 10

Com as informações normalizadas, realizou-se uma análise multicritério através da ponderação desses critérios. Por diversas razões optou-se por restringir a análise apenas para as áreas urbanas ocupadas (lotes) e apresentadas na Figura 21. A ponderação realizada, está representada algebricamente através da Equação 1 e foi elaborada baseada em consultas a especialistas e a revisão de literatura.

$$[(0,4 \cdot \text{Altura geométrica}) + (0,3 \cdot \text{Distâncias}) + (0,2 \cdot \text{População}) + (0,1 \cdot \text{Domicílios})] \cdot \text{lotes} \quad (\text{Eq. 01})$$

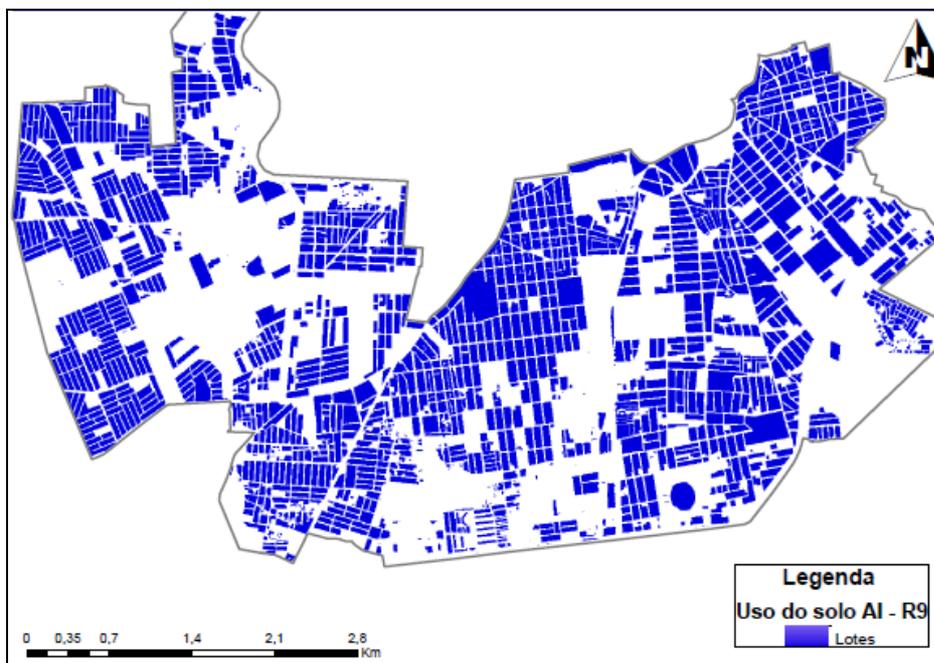


Figura 21: Uso do solo da cidade de Campina Grande (adaptado de CORDÃO, 2009)

Com os dados normalizados, os limites de aplicação do estudo definido e o apoio de geotecnologia para a realização de álgebras de mapa, foi possível identificar os lotes urbanos que ocupam regiões propícias ao desabastecimento de água. O resultado é apresentado em baixo, médio e alto risco ao desabastecimento. A figura 22 representa o resultado obtido.

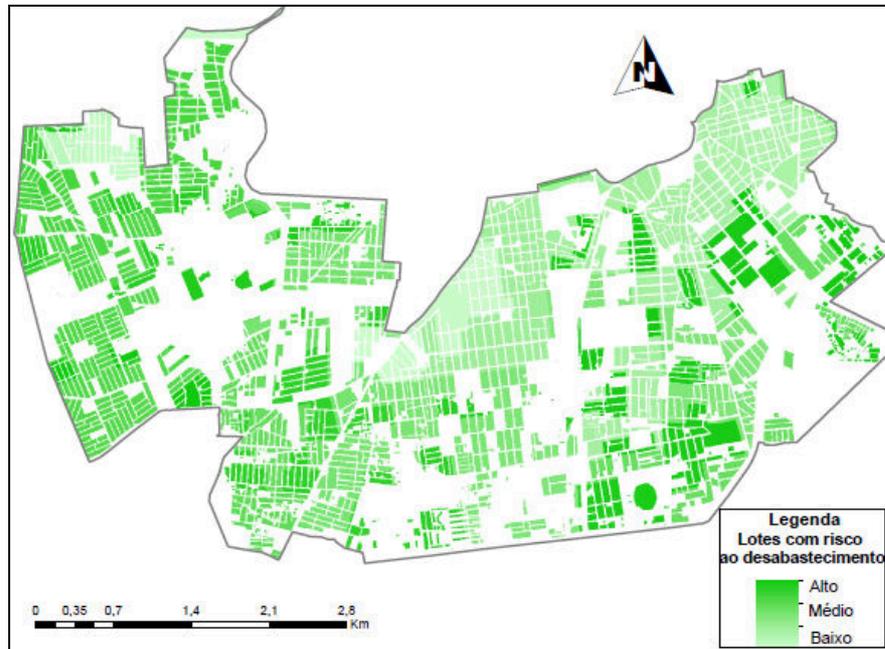


Figura 22: Riscos ao desabastecimento de água segundo análise multicriterial para a AI - R9.

## 5 CONCLUSÕES

A crise do setor hídrico e os problemas de gestão dos SAA no território nacional, evidenciou a problemática da escassez de água. Aliado a esse problema, tem-se o crescimento da zona urbana e o aumento progressivo da demanda por água. Com todos os aspectos apresentados, os SAA tendem cada vez mais apresentar problemas futuros, sendo necessárias medidas eficazes para auxiliar no seu adequado planejamento.

Assim, diante do estudo apresentado, foi possível observar a eficiência do geoprocessamento como sistema de apoio à decisão espacial, principalmente na gestão e planejamento de um SUDA. O SIG ofereceu uma série de vantagens frente à gestão habitual dos serviços de distribuição de água propiciando a otimização da análise do sistema e do planejamento. No levantamento de possíveis áreas com risco ao desabastecimento, mesmo com a ausência de quantidade de informações adequadas, foi possível estimar áreas propícias ao desabastecimento que, provavelmente, necessitarão de futuras unidades de reservação, ou intervenções para melhoria no atendimento à demanda. Esses mapas constituem importante instrumento para um adequado planejamento de futuras expansões do (SUDA) de Campina Grande.

Ressalta-se, entretanto, o caráter introdutório deste trabalho em um contexto de utilização desta metodologia no estabelecimento de “indicadores” de risco ao desabastecimento. Na ausência de estudos mais detalhados, estes indicadores já se apresentam como um grande avanço para os projetos de SUDA por permitirem a tomada de decisões baseada em critérios estabelecidos. Espera-se, portanto, que a visualização espacial das informações da forma como foi apresentada neste trabalho, represente por si só, uma grande contribuição para o setor e que possa ser utilizada, enquanto metodologia de projeto, em qualquer área urbana que possua dados semelhantes disponíveis para análise.

## REFERÊNCIAS

- CORDÃO, Maria J. S. Modelagem e otimização da disposição espacial de unidades de reservação em redes de distribuição de água utilizando geotecnologias. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- JUSTINO, J. D.; NOGUEIRA, E. “Estudo e análise de um sistema de distribuição de água: aplicação do método de Hardy Cross utilizando a equação universal de Darcy-Weisbach e o método de Hazen-Williams”. Caderno UniFOA, Volta Redonda, v. 22, p. 25-35, 2013.
- MELATO, Debora. Discussão de uma metodologia para o diagnóstico e ações para a redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo. 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MENESES, Ronaldo A.. Diagnóstico operacional de sistemas de abastecimento de água: o caso de Campina Grande. 2011. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- OLIVEIRA, R. M.; FORMIGA, K. T. “Uso de sistemas de informações geográficas na operação de sistemas de distribuição de água”. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, 20 f. 2009.
- SILVA, C. B. “Iniciando ArcGIS”. Uni-BH, Belo Horizonte, 62 f. 2010.
- SOUZA, Luis C. Alves. Análise de Risco Aplicada a Sistemas Urbanos de Abastecimento de Água com Suporte na Teoria das Opções Reais. 2013. 152 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, arquitetura e urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- VENTURINI, Maria Alice A. Gouveia Metodologia de análise e decisão multicriterial para a reabilitação de sistemas de abastecimento de água. 2003. 260 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, arquitetura e urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.