



PPGECA

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental
Área: Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Tibério Gomes Diniz

**Vulnerabilidade ao desabastecimento em situação de
intermitência no abastecimento de água**

Campina Grande – PB
2019

Tibério Gomes Diniz

**Vulnerabilidade ao desabastecimento em situação de
intermitência no abastecimento de água**

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

Orientador: Prof. Carlos de Oliveira Galvão
Coorientadora: Prof.^a Maria Helena Del Grande

Campina Grande – PB
2019

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

D585v Diniz, Tibério Gomes.
 Vulnerabilidade ao desabastecimento em situação de
intermitência no abastecimento de água / Tibério Gomes Diniz. –
Campina Grande, 2019.
 65 f.: il. color.

 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) –
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e
Recursos Naturais, 2019.
 "Orientação: Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão;
Coorientação: Maria Helena Del Grande".
 Referências.

 1. Gestão de Recursos Hídricos. 2. Dimensões da
Vulnerabilidade. 3. Desabastecimento de Água. I. Galvão, Carlos
de Oliveira. II. Del Grande, Maria Helena III. Título.

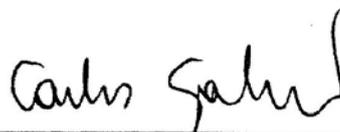
CDU 556.18(043)

Tibério Gomes Diniz

**Vulnerabilidade ao desabastecimento em situação de
intermitência no abastecimento de água**

Dissertação apresentada em 15 de fevereiro de 2019.

Banca Examinadora:



Carlos de Oliveira Galvão (UFCG)
Orientador



Maria Helena Del Grande (IFBA)
Coorientadora



Livia Izabel Bezerra de Miranda (UFCG)
Examinadora Interna



Francine Modesto dos Santos (UFCG)
Examinadora Externa

Campina Grande – PB
2019

Aos meus pais pelo esforço desmedido em educar-me e inclinar-me para os caminhos corretos da vida. À minha noiva que esteve sempre ao meu lado, sendo meu porto seguro diante das adversidades e companheira fiel durante essa caminhada. Dedico.

AGRADECIMENTOS

É chegada a concretização de mais um projeto de vida. Este trabalho encerra mais uma etapa da minha vida acadêmica. Realizar um trabalho como esse não é uma tarefa fácil, requer do pesquisador disciplina, planejamento e entrega total à pesquisa. Apesar de sempre ouvir falar que o trabalho científico é sinônimo de isolamento para o autor, eu sempre procurei buscar inspiração e coragem através da minha fé e pela convivência com o próximo. Por isso, venho agradecer, através desse espaço, a todos que contribuíram para que esse sonho se tornasse realidade.

Gratidão, primeiramente, a Deus que me acolhe em Seus braços de Pai todo instante, que me conduz e socorre, me defende e protege. Obrigado, Senhor, por me acalantar nos momentos mais difíceis, inseguros e incertos.

Gratidão à minha família que, apesar de ser pouco numerosa, é gigante na garra, na força, na fé, na presença de Deus. Devo toda minha vida aos meus pais, que não cessam em me conceder o melhor. Mesmo distantes fisicamente se faziam presentes todos os dias durante esta etapa da minha vida e nunca me deixaram faltar absolutamente nada, são anjos que Deus colocou em minha vida como pais.

Gratidão à minha noiva e futura esposa, instrumento de Deus, fonte de imenso e intenso amor, cuidado e carinho, resposta para as minhas orações e exemplo de fé. Sempre presente diariamente em minha vida apesar da distância física, dando seu melhor para me ver feliz e sendo porto seguro para que possa continuar firme na caminhada para alcançar meus objetivos.

Gratidão aos meus amigos, meu refúgio e fortaleza. Agradeço àqueles da infância que permaneceram junto a mim deixando um pouco de si, os quais levarei comigo para o resto da minha vida. Agradeço àqueles também que encontrei na caminhada, essenciais para que meus dias fossem mais leves, dentre esses destaco os amigos do Laboratório de Hidráulica II com quem pude conviver esses dois anos e os meus amigos apresentados por Deus através do EJC.

Gratidão aos mestres, grandes incentivadores para que eu chegasse até aqui, que contribuíram para minha formação e na conclusão desta nova etapa na minha carreira. Dentre eles, destaco os meus orientadores Prof. Carlos e Prof.^a Maria Helena que foram essenciais no desenvolvimento deste trabalho. E à CAPES pelo apoio financeiro.

Gratidão eterna! Essa vitória tem um pouco de cada um de vocês.

RESUMO

A intermitência na distribuição de água é uma condição indesejável, embora frequente nos sistemas de abastecimento de água, ocasionada por problemas estruturais, operacionais ou em situações de escassez de água. A intermitência ocorre quando o serviço de fornecimento de água fica disponível aos usuários (ou consumidores) menos de 24 horas por dia. Esta condição produz efeitos adversos, como deterioração da rede de abastecimento de água, normalmente projetada para abastecimento contínuo, perdas de água na forma de vazamentos, ajustes constantes no balanço hídrico do sistema de abastecimento, adaptações dos usuários do sistema (ou consumidores de água), em especial os usuários domésticos, cuja demanda é pouco flexível e a capacidade de armazenamento de água variável, entre outros. Neste estudo, é proposto um conjunto simplificado de indicadores que permite identificar diferentes níveis de vulnerabilidade ao desabastecimento de água aos quais uma população urbana está sujeita, em situação de intermitência no abastecimento de água. Os indicadores podem ser obtidos de dados censitários, de informações topológicas, topográficas e hidráulicas do sistema de abastecimento e de levantamentos cadastrais ou de sensoriamento remoto da localidade, podendo ser processados em Sistemas de Informação Geográfica. Este trabalho apresenta a formulação dos indicadores e a sua aplicação ao sistema de Campina Grande - PB, com base em levantamentos disponíveis sobre usuários em situação de intermitência no abastecimento. Os resultados permitem a identificação das áreas mais vulneráveis no espaço urbano e a recomendação de medidas mitigadoras para a redução da vulnerabilidade dos usuários potencialmente afetados pela intermitência no abastecimento.

Palavras-chave: Dimensões da Vulnerabilidade, Desabastecimento de Água, Gestão de Recursos Hídricos.

ABSTRACT

Intermittent water supply is an undesirable condition, although frequent in water supply systems, caused by structural, operational or water shortages. Flashing occurs when the water service is available to users (or consumers) less than 24 hours a day. This condition produces adverse effects such as deterioration of the water supply network, normally designed for continuous supply, leakage of water in the form of leaks, constant adjustments in the water balance of the supply system, adaptations of users of the system (or consumers of water), in particular the domestic users, whose demand is not flexible and the capacity of variable water storage, among others. This paper proposes a simplified set of indicators to identify different levels of vulnerability to water shortages to which an urban population is subject, in a situation of intermittent water supply. The indicators can be obtained from census data, topological, topographic and hydraulic information from the supply system and from cadastral surveys or remote sensing of the locality, and can be processed in geographic information systems. This work presents the formulation of the indicators and their application to the Campina Grande - PB system, based on available surveys on users in intermittent supply situations. The results allow the identification of the most vulnerable areas in the urban space and the recommendation of mitigating measures to reduce the vulnerability of users potentially affected by the intermittent supply.

Keywords: Dimensions of Vulnerability, Water Shortage, Management of Water Resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa final de vulnerabilidade.....	28
Figura 2 - Fluxograma do método	31
Figura 3 - Delimitação da área de estudo.....	32
Figura 4 - (A) Mosaico de imagem com representação vetorial de Campina Grande – PB – Fonte: SEPLAN/PMCG (2014); (B) Caixas d'água de polietileno; (C) Caixas d'água de concreto/alvenaria/fibrocimento; (D) Piscinas	38
Figura 5 - Fluxograma da metodologia para proposição de intervenções.....	42
Figura 6 - Risco de desabastecimento na área urbana de Campina Grande – PB...	43
Figura 7 - Renda média mensal por setor censitário da área urbana de Campina Grande – PB	44
Figura 8 - Localização de aglomerados subnormais na área urbana em Campina Grande – PB	45
Figura 9 - Mapa de vulnerabilidade por setor censitário	46
Figura 10 - Mapa de vulnerabilidade por bairro	47
Figura 11 - Percentual de domicílios com capacidade de reservação por setor censitário na área urbana de Campina Grande – PB	50
Figura 12 - Mapa de vulnerabilidade atenuada por setor censitário	51
Figura 13 - Mapa de vulnerabilidade atenuada por bairro	52
Figura 14 - Localização dos domicílios do estudo de Grande (2016) no Mapa de Vulnerabilidade atenuada	55
Figura 15 - Localização das possíveis intervenções no município de Campina Grande -PB.....	57
Figura 16 - Mapa de vulnerabilidade com a intervenção no risco hidráulico de alto ou médio para baixo – Cenário 1	58
Figura 17 - Mapa de vulnerabilidade após a intervenção no risco hidráulico de alto para médio – Cenário 2.....	59

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Indicadores selecionados.....	35
Quadro 1 - Indicadores selecionados (Continuação).....	36
Quadro 2 – Regras de decisão estabelecidas para agregação dos indicadores risco hidráulico, renda média mensal e presença de aglomerados subnormais.....	40
Quadro 3 - Regras de decisão estabelecidas para agregação do indicador capacidade de reservação ao modelo.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAGEPA	Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PMCG	Prefeitura Municipal de Campina Grande
SADE	Sistema de Apoio à Decisão Espacial
SEPLAN	Secretaria de Planejamento
SIG	Sistema de Informação Geográfica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivo Geral	17
2.2	Objetivos Específicos	17
3	REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1	Riscos e vulnerabilidades no ambiente urbano.....	18
3.2	Sistemas de abastecimento de água intermitentes.....	21
3.3	Vulnerabilidades e desigualdades no abastecimento de água.....	22
3.4	Metodologias de avaliação da vulnerabilidade.....	24
3.5	Trabalhos correlatos.....	26
4	METODOLOGIA.....	31
4.1	Caso de Estudo.....	31
4.2	Unidade de análise.....	33
4.3	Seleção dos indicadores de vulnerabilidade e aquisição dos dados ...	34
4.4	Tratamento dos dados em SIG.....	39
4.5	Proposição de intervenções.....	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
5.1	Agregação dos indicadores de vulnerabilidade	43
5.2	Avaliação da vulnerabilidade	53
5.3	Medidas de intervenção.....	56
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	61
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de abastecimento de água são projetados para atender à população de forma contínua e equitativa, mas com o aumento da urbanização, a demanda por água tem aumentado nos grandes centros urbanos, além da crescente escassez de água, esses fatores levaram a um uso mais recorrente do fornecimento intermitente de água, que funciona como uma técnica para controlar a demanda de água por meio do fornecimento limitado do recurso aos consumidores (AGATHOKLEOUS; CHRISTODOULOU, 2016; ILAYA-AYZA et al., 2017; SIMUKONDA; FARMANI; BUTLER, 2018).

A oferta intermitente de água é uma medida adotada por necessidade em situações de crise hídrica, utilizada como uma solução conveniente para os gestores, portanto não é uma medida projetada e gera impactos estruturais e operacionais nos sistemas de distribuição de água, caracterizando uma condição indesejável para o sistema de abastecimento do município e para o acesso à água por parte da população.

Todos esses problemas combinados geram impactos no abastecimento de água, sobretudo, para parcelas da população que estão sujeitas ao desastre associado à sua marginalização no espaço urbano, pois encontram-se mais vulneráveis de acordo com suas características físicas e socioeconômicas, apresentam menor capacidade de se adaptar e têm o seu direito individual de possuir uma boa qualidade de vida e ter acesso a bens naturais primários, como a água, negligenciado.

Em situações de intermitência, os sistemas de abastecimento de água ficam mais expostos a estresse, perturbação e aumento de sensibilidade, isso pode gerar uma vulnerabilidade para os usuários desses sistemas e, a capacidade dos usuários desse sistema de lidar, recuperar ou adaptar-se em situações de crise, influencia na magnitude dessa vulnerabilidade (ADGER, 2006; BORUFF *et al.*, 2018; TURNER *et al.*, 2003).

O conceito de vulnerabilidade é bastante amplo, existem diversas definições de vulnerabilidade que são utilizadas nos mais diversos contextos, adaptando-se para cada área do conhecimento. Com o crescimento das desigualdades sociais, da pobreza e da segregação espacial correlacionadas com a conseqüente degradação do ambiente nas suas diferentes particularidades, a vulnerabilidade emergiu como um novo enfoque teórico-metodológico dos desastres (ALMEIDA, 2012).

Segundo Mukesh; Komal; Alexander (2017), a vulnerabilidade é função de três dimensões: a exposição, que caracteriza a susceptibilidade física ao desastre; a sensibilidade, que representa a fragilidade socioeconômica; e a capacidade de adaptação, que é caracterizada pelas respostas aos efeitos do desastre. Os impactos potenciais são uma função da sensibilidade e da exposição. Dessa maneira, os autores definem vulnerabilidade como uma função dos impactos potenciais e da capacidade adaptativa.

A vulnerabilidade da sociedade em risco exposto, a frequência e a intensidade do perigo influenciam diretamente nas consequências negativas dos perigos naturais. Dessa forma, a avaliação e mensuração da vulnerabilidade são fundamentais para diminuir os efeitos e o risco de perigo. Avaliações de vulnerabilidade são frequentemente realizadas agregando indicadores que representam os fatores associados aos impactos caracterizando as três dimensões da vulnerabilidade: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa (JUHOLA E KRUSE, 2015; RUNFOLA *et al.*, 2017; TZILIVAKIS *et al.*, 2013; YUAN *et al.*, 2013). Ao agregar esses indicadores é possível criar uma medida comparável de vulnerabilidade com a finalidade de contrastar diferentes graus de vulnerabilidade (CUTTER, BORUFF E SHIRLEY, 2003; RUNFOLA *et al.*, 2017). Amplos problemas combinados condicionam os mais elevados graus de vulnerabilidade, assim como a capacidade de se adaptar ou de se restabelecer após um desastre leva aos menores níveis de vulnerabilidade.

O uso de técnicas multicriteriais mediante a combinação de informações variadas para a produção de um índice de avaliação da vulnerabilidade tem sido frequentemente utilizado para tomada de decisões. A metodologia de integração entre análise multicriterial e Sistema de Informação Geográfica (SIG) facilita a identificação de situações de vulnerabilidade por meio de sobreposição de indicadores e espacialização dos resultados, atuando como um Sistema de Apoio à Decisão Espacial (SADE) (MALTA, COSTA E MAGRINI, 2017).

Alguns pesquisadores em seus trabalhos tiveram como objetivo apresentar uma abordagem para quantificar a vulnerabilidade por meio da produção e agregação de indicadores, como é o caso de Runfola *et al.* (2017), que expõem uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade às mudanças climáticas baseada em um estudo de caso que examina a vulnerabilidade às inundações nos Estados Unidos. Outro trabalho nessa perspectiva é o de Malta, Costa e Magrini (2017), que consiste em identificar, caracterizar e analisar situações de vulnerabilidade através de uma

metodologia utilizando técnicas multicriteriais e SIG para elaboração de um índice representativo de variáveis sociais, econômicas, de infraestrutura urbana, ambientais, de saúde e de segurança pública na cidade do Rio de Janeiro - RJ.

As regiões áridas e semiáridas, por si só, são especialmente mais vulneráveis aos impactos das mudanças nos recursos hídricos por apresentarem regime irregular de chuvas e por passar longos períodos de escassez hídrica (BEUHLER, 2003; XIA *et al.*, 2017). Nesse sentido, grandes centros urbanos localizados no semiárido brasileiro, como Campina Grande - PB, se apresentam como um interessante objeto de estudo para aplicação de uma metodologia de avaliação da vulnerabilidade ao desabastecimento de água pela sua fragilidade no sistema de abastecimento diante da expansão urbana e de prolongados períodos de seca, passando assim por problemas referentes à intermitência no abastecimento de água.

Segundo Grande (2016), o abastecimento de água intermitente é frequente na área urbana de Campina Grande – PB, gerando uma distribuição desigual de água para os consumidores e indicando uma situação de escassez hídrica estrutural caracterizada por problemas de gestão hídrica no município. A partir dessa problemática, faz-se necessário identificar as áreas mais vulneráveis ao desabastecimento de água em situação de intermitência na área urbana do município de Campina Grande para nortear as intervenções a fim de reduzir a exposição dessas áreas ao desastre do desabastecimento de água.

Este trabalho teve como base o estudo de Grande *et al.* (2014), que teve o objetivo de identificar situações de desigualdade no acesso à água na área urbana de Campina Grande, levando em consideração períodos de escassez hídrica nos quais foi utilizado o racionamento como medida de gestão e propôs um modelo de avaliação da vulnerabilidade baseado na união dos critérios: econômico, com base na renda média mensal familiar por setor censitário; social, caracterizado pela presença de aglomerados subnormais; hidráulico, caracterizado pelo risco de desabastecimento; e mitigador, considerando a presença de reservatórios de água em condomínios verticais. O trabalho de Grande *et al.* (2014) considerou três classes de vulnerabilidade: *Sem vulnerabilidade, vulnerabilidade alta e vulnerabilidade muito alta.*

O presente estudo iniciou a partir da proposta de Grande *et al.* (2014), com o intuito de expandi-la através do aumento do número de classes de vulnerabilidade, bem como do refinamento dos dados referentes ao critério mitigador (capacidade de reservação), para gerar informações mais detalhadas sobre a vulnerabilidade ao

desabastecimento de água em Campina Grande, em situação de crise hídrica ou não, podendo ser adaptada para outras cidades conforme suas singularidades e orientar as ações da concessionária responsável pelo abastecimento de água urbano, bem como políticas públicas para mitigação dos impactos oriundos da referida condição.

Este trabalho, que tem como objeto de estudo a vulnerabilidade ao desabastecimento de água no município de Campina Grande, se soma a outros estudos que problematizam o acesso e distribuição de água no município para contribuir com dados e informações que orientem uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos através de intervenções capazes de reduzir os efeitos dos impactos causados pela intermitência no abastecimento nas rotinas das pessoas, em situações de crise hídrica ou não.

Este trabalho está dividido em tópicos: no capítulo 2 são apresentados os *objetivos geral e específicos* do estudo; o *referencial teórico* que pode ser encontrado no capítulo 3, apresenta a problemática deste estudo e definições para vulnerabilidade, bem como exemplos de metodologias para avaliação da vulnerabilidade utilizadas em outros estudos que serviram como base para este; a *metodologia* utilizada para o desenvolvimento deste trabalho baseada na agregação de indicadores por meio de técnicas multicriteriais e SIG está descrita no capítulo 4; os *resultados* obtidos com a aplicação da metodologia proposta para a área de estudo e as possíveis intervenções para redução da vulnerabilidade são apresentados no capítulo 5; e no capítulo 6 são encontradas as *considerações finais* que apresentam as conclusões através da discussão dos resultados obtidos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Propor um conjunto simplificado de indicadores para análise da vulnerabilidade ao desabastecimento de água em situações de intermitência no abastecimento, usando dados que sejam facilmente adquiridos e possam indicar uma avaliação preliminar dos níveis de vulnerabilidade de qualquer cidade.

2.2 Objetivos Específicos

- ✓ Selecionar os principais indicadores referentes à sensibilidade socioeconômica, exposição física e capacidade de adaptação para caracterizar a vulnerabilidade ao desabastecimento de água;
- ✓ Estabelecer um método de agregação a partir de técnicas multicriteriais em SIG destes indicadores para avaliação da vulnerabilidade e espacializar os resultados para a área de estudo;
- ✓ Propor diretrizes para intervenções capazes de reduzir a vulnerabilidade na área de estudo.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Riscos e vulnerabilidades no ambiente urbano

Muitos problemas urbanos atualmente estão relacionados, por um lado, ao contingente de pessoas concentradas no espaço das cidades e, por outro lado, às mudanças ambientais globais tornando as áreas urbanas ambientalmente frágeis e socialmente vulneráveis.

As mudanças climáticas interferem nas condições das pessoas, seus impactos culminam em desastres como inundações, secas e tempestades que não são sentidos nem distribuídos igualmente entre as pessoas (KRELLENBERG et al., 2017). Os impactos causados pelos desastres têm aumentado consideravelmente em áreas urbanas e decorrem principalmente de uma combinação de efeitos relacionados a fatores socioeconômicos, demográficos, tecnológicos, entre outros (MENDONÇA; LEITÃO, 2008). Dentre esses problemas se destacam as desigualdades sociais, a pobreza e a segregação socioespacial oriundas da grande urbanização correlacionada com a degradação do ambiente urbano. Isso faz das cidades, espaços amplamente vulneráveis a qualquer que seja o agente causador do desastre.

O interesse pelo estudo da vulnerabilidade urbana é impulsionado pelo fato de que mais da metade da população no mundo todo vive em áreas urbanas e a tendência é que a população urbana aumente ainda mais (KRELLENBERG et al., 2017).

O risco é uma realidade em qualquer sociedade, sendo assim, inerente à vida. Foi nessa perspectiva que surgiu a necessidade de se estudar os desastres não considerando apenas os fatores físicos que contribuem para acontecer o desastre, mas também as populações atingidas pelo desastre.

Segundo Almeida (2012), a partir desse novo enfoque do desastre emergiu o conceito de risco e, conseqüentemente, o conceito de vulnerabilidade, como uma vertente do conceito de risco. Este pode ser considerado como a percepção de um indivíduo ou de um grupo de indivíduos acerca da possibilidade de ocorrer eventualmente um desastre causador de danos, cujas conseqüências desse desastre sejam função da vulnerabilidade relacionada a esse indivíduo ou grupo de indivíduos.

Por muito tempo o estudo do desastre era focado na ocupação humana das zonas de risco e como as populações respondiam aos efeitos desse desastre para reduzir os riscos e impactos ambientais (CUTTER, 1996). Com a inclusão das perspectivas socioculturais à problemática do desastre e com os questionamentos acerca da vulnerabilidade das sociedades aos riscos ambientais, o conceito de vulnerabilidade ganhou destaque e tornou-se base para políticas de redução de riscos. Apesar da grande relevância atribuída ao conceito de vulnerabilidade, ainda há a carência de um consenso atribuída à sua multidisciplinariedade. Por ser utilizado em várias áreas do conhecimento, o conceito de vulnerabilidade está imbuído em diversas teorias disciplinares que sustentam a origem técnica ou social do conceito (FUCHS; BIRKMANN; GLADE, 2012). Diversas definições de vulnerabilidade surgiram e são utilizadas nos mais diversos contextos, adaptando-se para cada área do conhecimento por se tratar de um conceito bastante amplo (MALTA; COSTA; MAGRINI, 2017).

Para Cutter (1996), vulnerabilidade é amplamente definida como o potencial de perda de uma sociedade e é um conceito fundamental no estudo dos desastres para o desenvolvimento de estratégias de intervenção em âmbito local, nacional e internacional. A partir da década de 90, o estudo da vulnerabilidade passou a ter papel de destaque como uma forma de propor alternativas de redução do risco a partir da mitigação dos problemas baseada em soluções de engenharia. A autora, uma das pioneiras no estudo da vulnerabilidade, ainda caracteriza a vulnerabilidade como uma pedra angular para os esforços internacionais destinados a reduzir a pobreza e reverter problemas relacionados à população e degradação ambiental.

Nesse contexto, a vulnerabilidade tem sido aceita como um resultado de sistemas socioeconômicos que põem as pessoas em risco. Segundo Krellenberg et al. (2017), a vulnerabilidade está relacionada com a maneira com que a comunidade está exposta ao risco de acordo com sua susceptibilidade a sofrer danos e sua capacidade para enfrentar, abordar, gerenciar e superar os impactos negativos do desastre. Por outro lado, Moser (1998) separa os conceitos de vulnerabilidade e pobreza, segundo a autora, o conceito de vulnerabilidade, embora frequentemente associado ao conceito de pobreza, não é o mesmo, pois a pobreza é considerada pela autora como um conceito estático e a vulnerabilidade é um conceito dinâmico. Mesmo que as pessoas pobres estejam entre as mais vulneráveis a um desastre qualquer, nem todas as pessoas vulneráveis são pobres. Dessa forma, Moser (1998)

caracteriza a vulnerabilidade como insegurança e sensibilidade dos indivíduos frente a um ambiente de mudança e dentro disso estão implícitas sua capacidade de resposta e resiliência durante essas mudanças.

Segundo Mendonça e Leitão (2008), a vulnerabilidade no ambiente urbano decorre de um conjunto de fatores que tornam a sociedade exposta ao risco mais ou menos susceptíveis aos efeitos do risco. Na escala urbana, a vulnerabilidade deve ser vista não apenas relacionada à susceptibilidade física dos elementos sob risco, mas deve ser levada em consideração a sensibilidade socioeconômica e a incapacidade de se adaptar ou de ser resiliente das comunidades em risco exposto (CARDONA, 2003).

Segundo Cardona (2003), a vulnerabilidade se origina com a união de três fatores: fragilidade física ou exposição, que representa a susceptibilidade de uma comunidade humana de sofrer interferência de um desastre devido a sua localização e a falta de resiliência; fragilidade socioeconômica, que representa a predisposição de uma sociedade de ser afetada por um desastre devido a sua sensibilidade socioeconômica marcada por sua marginalidade, segregação social e fraquezas econômicas; e falta de resiliência, que representa as limitações dos indivíduos de responder aos efeitos do desastre.

Mukesh; Komal; Alexander (2017) consideram a vulnerabilidade como função de três dimensões: a exposição, que caracteriza a susceptibilidade física ao desastre; a sensibilidade, que representa a fragilidade socioeconômica; e capacidade de adaptação, que é caracterizada pelas respostas aos efeitos do desastre. Os impactos potenciais são uma função da sensibilidade e da exposição. Dessa maneira, os autores definem vulnerabilidade como uma função dos impactos potenciais e da capacidade adaptativa.

As definições para vulnerabilidade apresentadas anteriormente se complementam e agregam as contribuições das ciências físicas e sociais para definir a vulnerabilidade através da seleção e união dos fatores que produzem ou agravam a vulnerabilidade na tentativa de obter uma visão mais holística da vulnerabilidade.

As definições de vulnerabilidade apresentadas por Cardona (2003) e Mukesh; Komal; Alexander (2017) contribuíram para a escolha dos indicadores utilizados na representação da vulnerabilidade e na aplicação de uma metodologia para combinar esses indicadores no presente estudo. Os indicadores escolhidos basearam-se nas dimensões da vulnerabilidade apresentadas pelos autores. Assim como, outras

definições também contribuíram para gerar uma visão mais ampla acerca do conceito de vulnerabilidade para fundamentar as escolhas feitas para o desenvolvimento deste estudo.

Atualmente, os desafios das pesquisas que envolvem vulnerabilidade consistem em agregar três aspectos: as dimensões da vulnerabilidade, os diferentes métodos utilizados para avaliação da vulnerabilidade e as respectivas áreas do conhecimento às quais estão associados e a dimensão alvo da avaliação da vulnerabilidade (FUCHS; BIRKMANN; GLADE, 2012).

Segundo Marandola Jr. e Hogan (2006), é extremamente importante atrelar o termo vulnerabilidade ao perigo ou conjunto de perigos aos quais ela está relacionada, além de considerar também onde e quem é vulnerável, através desse refinamento é possível determinar os elementos envolvidos na vulnerabilidade e como pode proporcionar sua diminuição.

3.2 Sistemas de abastecimento de água intermitentes

Os sistemas de abastecimento de águas são infraestruturas complexas que têm por finalidade captar água bruta de acordo com as disponibilidades e necessidades, produzir água potável através da água bruta captada obedecendo às normas de qualidade, armazenar e distribuir essa água para a população de forma adequada e confiável. A regularidade no fornecimento de água é o que diferencia esses sistemas para os sistemas de abastecimento de água intermitentes, que é a forma pela qual muitas pessoas têm acesso à água no mundo hoje.

Os sistemas de abastecimento de água são projetados para atender à população de forma ininterrupta, porém fatores, como a crescente escassez de água devido às mudanças climáticas e a crescente demanda devido ao considerável aumento populacional, levaram a um uso mais recorrente do fornecimento intermitente de água (ILAYA-AYZA et al., 2017).

O crescimento populacional, a urbanização e as dinâmicas econômicas estão entre as principais causas na intermitência do abastecimento de água. A urbanização contribui para a elevada concentração de pessoas nas cidades levando ao aumento da demanda da população por serviços de abastecimento de água além do que a infraestrutura da cidade tem capacidade de suportar. A urbanização leva a situações precárias de moradia, muitas pessoas que chegam às cidades se instalam em

assentamentos não planejados que carecem de serviços de saneamento básico, dentre eles o abastecimento de água.

Os sistemas de abastecimento de água intermitentes fornecem o serviço de abastecimento de água por um período limitado de tempo. Possuem um cronograma no fornecimento de água que varia bastante, podendo ser regular ou não, alguns dessas sistemas fornecem água diariamente mesmo que hajam interrupções durante o dia, outros fornecem água apenas em alguns dias da semana (SIMUKONDA; FARMANI; BUTLER, 2018). As políticas do abastecimento de água intermitente são fundamentadas na necessidade de economizar água em períodos de crise hídrica, esses sistemas funcionam como uma técnica para controlar a demanda de água por meio do fornecimento limitado de água aos consumidores, contudo deve ser a última medida a ser adotada em situações de crise hídrica, pois as consequências da intermitência no abastecimento de água são maiores que seus pontos positivos (AGATHOKLEOUS; CHRISTODOULOU, 2016; ILAYA-AYZA et al., 2017).

Em sistemas de abastecimento de água intermitentes são entregues vazões muito maiores em horários de pico comparado a sistemas contínuos, o que dificulta bastante a gestão, pois implica em um maior volume armazenado e maiores diâmetros da rede de distribuição de água. Em setores desfavoráveis com relação à topografia, as pressões são insuficientes fazendo com que a água demore a voltar ou nem chegue. Todos esses problemas combinados geram um risco de desabastecimento de água para parcelas da população que se encontram mais vulneráveis de acordo com suas características peculiares.

3.3 Vulnerabilidades e desigualdades no abastecimento de água

Muitos centros urbanos têm apresentado relevante crescimento populacional, isto tem ampliado consideravelmente a demanda de água gerando riscos e vulnerabilidades relacionadas à escassez de água através dos impactos causados no abastecimento deste recurso, constituindo os sistemas de abastecimento de água intermitentes. Uma parcela da população apresenta condições mais desfavoráveis para o risco de escassez de água por possuir renda inferior e/ou habitar em locais de maior fragilidade física, tornando-se mais vulneráveis à ocorrência desse desastre. Dessa forma, as características físicas e socioeconômicas de cada região determinam sua vulnerabilidade no abastecimento de água de acordo com suas particularidades.

De acordo com Mendonça e Leitão (2008), as populações de baixa renda são mais vulneráveis ao desabastecimento de água pelas lacunas da política de habitação. Devido à crescente urbanização, essas populações são obrigadas a construir sua moradia em áreas periféricas que são locais de grande risco do desastre associado em virtude de suas características físicas. O risco de desabastecimento de água para essas populações está atrelado à incerteza da regularidade do funcionamento dos sistemas de abastecimento público. Sendo assim é necessário direcionar também a gestão de recursos hídricos para a questão da habitação e da ocupação do território que também são fatores que interferem no acesso e distribuição de água

As características de cada local do município vão determinar e delimitar a vulnerabilidade e nortear as intervenções para mitigação ou prevenção frente aos efeitos do desastre. Sendo assim, é possível concluir que diferentes localidades do município apresentam diferentes vulnerabilidades ao desabastecimento de água de acordo com suas características inerentes, caracterizando situações de desigualdades no abastecimento de água dentro do próprio município.

É nessa perspectiva que se configura a injustiça hídrica no abastecimento de água no espaço urbano, que está relacionada às condições desiguais de acesso ao recurso, às quais os diferentes estratos da população estão expostos e à incapacidade do gerenciamento de recursos hídricos de gerar condições equitativas no abastecimento de água. Muitas vezes, as condições desiguais no abastecimento de água são camufladas pelos indicadores de desempenho dos serviços de saneamento, que utilizam médias estatísticas associadas a grandes escalas (GRANDE *et al.*, 2016; ZHOURI, 2008).

Têm-se buscado novas abordagens alusivas à gestão de recursos hídricos pautadas na redução da vulnerabilidade ao desabastecimento de água, que se torna uma necessidade bastante evidente, principalmente em períodos de escassez de água. Assim, faz-se necessário a adoção de sistemas de gerenciamento de recursos que se adaptam a incertezas e mudanças futuras, que orientem os processos de tomada de decisão (DESOUZA; FLANERY, 2013).

Dessa forma, torna-se necessário realizar uma avaliação da vulnerabilidade ao desabastecimento de água nas cidades para identificar as regiões mais vulneráveis afim de concentrar as possíveis intervenções nessas áreas com o objetivo de diminuir os riscos de escassez de água para as populações residentes. Essa avaliação deve

ser baseada na associação de fatores sociais, econômicos e institucionais aos fatores físicos, pois a segurança hídrica pode estar mais ligada a questões de governança e gestão de recursos hídricos do que à própria disponibilidade de água (BORUFF *et al.*, 2018).

3.4 Metodologias de avaliação da vulnerabilidade

Um dos desafios no estudo da vulnerabilidade é a sua mensuração. O desenvolvimento de metodologias para avaliar a vulnerabilidade tornou-se essencial para promover a redução de riscos aos desastres. Contudo, ainda não foi desenvolvida uma metodologia universalmente aceita para identificar e mensurar os riscos e as vulnerabilidades ao desastre (BORUFF *et al.*, 2018). A complexidade de sua avaliação impede a construção de uma metodologia amplamente aceita para entender a vulnerabilidade.

Existem várias formas de avaliar a vulnerabilidade que fornecem informações para tomada de decisão a fim de possibilitar novas estratégias para redução dos riscos aos desastres. Boa parte das metodologias utilizam uma definição de vulnerabilidade baseada em suas dimensões: exposição, sensibilidade e capacidade adaptativa (RUNFOLA *et al.*, 2017). Apesar de não haver uma estrutura conceitual acordada para mensuração da vulnerabilidade, são comumente utilizados indicadores para compor uma representação da vulnerabilidade. A avaliação é conduzida através da seleção de indicadores que representam informações associadas aos impactos do desastre caracterizando as dimensões da vulnerabilidade (TZILIVAKIS *et al.*, 2013; YUAN *et al.*, 2013). Esses indicadores são agregados e reproduzem a situação da vulnerabilidade através da união das características peculiares de cada localidade.

Os indicadores podem ser considerados como uma medida para quantificar algum conceito abstrato permitindo, por exemplo, acompanhar as condições de vida de uma população sob risco de desastre (MALTA; COSTA; MAGRINI, 2017). A mensuração da vulnerabilidade deve ser baseada em distintas abordagens, portanto os indicadores devem apresentar uma visão holística da realidade inerente ao desastre a fim de representar os fatores associados ao risco das populações dependendo da ameaça em questão e da realidade socioeconômica e cultural da área analisada.

Quando os indicadores são agravantes da vulnerabilidade, ou seja, representam a sensibilidade ou exposição das comunidades humanas aos riscos referentes ao desastre, ao serem combinados criam as condições para um maior grau de vulnerabilidade (ALMEIDA, 2012). Por outro lado, se o indicador representa a capacidade de um indivíduo ou grupo de indivíduos de se adaptar ou de responder ao desastre, o grau de vulnerabilidade pode ser reduzido. Portanto, a natureza dos indicadores relacionados ao risco de um desastre vai indicar os maiores ou menores graus de vulnerabilidade.

Com a finalidade de unir as informações referentes a cada indicador de vulnerabilidade envolvido no risco associado ao desastre em estudo tem sido crescente o uso de técnicas multicriteriais e de sobreposição de mapas. Essas técnicas podem combinar das mais variadas formas os dados inerentes aos indicadores de acordo com as características peculiares do desastre em estudo e da área sob risco com o intuito de gerar resultados acerca da vulnerabilidade.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm assumido papel de destaque na avaliação da vulnerabilidade como ferramenta para combinação dos indicadores através de técnicas multicriteriais. A utilização dessa integração de SIG com análise multicritério tem ajudado bastante no apoio à decisão, pois através da análise espacial dos resultados, torna-se mais fácil identificar situações de vulnerabilidade no mapa e, conseqüentemente estabelecer planos de intervenção nas áreas identificadas.

Os estudos de vulnerabilidade socioambiental passaram a ser elaborados com maior amplitude no Brasil com a incorporação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) que contribuíram para sobrepor variáveis espaciais, geográficas, sociais e demográficas em uma escala intramunicipal (MALTA; COSTA E MAGRINI (2017). Outro avanço nos estudos urbanos e ambientais no Brasil foi a divulgação de informações georreferenciadas por setor censitário do IBGE, pois o georreferenciamento permitiu a utilização do SIG para representação espacial dos dados, além disso, a adoção dos setores censitários como uma escala intraurbana apresentou vantagens em relação a outras escalas por permitir captar a diversidade sociodemográfica e ambiental na área urbana do município.

3.5 Trabalhos correlatos

Alguns pesquisadores em seus trabalhos tiveram como objetivo apresentar uma abordagem para quantificar a vulnerabilidade por meio da produção e agregação de indicadores, como é o caso de Runfola *et al.* (2017), que propõem uma metodologia para avaliação da vulnerabilidade às mudanças climáticas baseada em um estudo de caso que examina a vulnerabilidade às inundações nos Estados Unidos. Os autores apresentam uma abordagem flexível para avaliar a vulnerabilidade por meio da associação de indicadores considerando o grau em que os valores baixos de indicadores podem compensar os valores altos. Além disso, foi feita uma análise de sensibilidade para determinar o efeito dos pesos de importância atribuídos a cada indicador na vulnerabilidade final. Apesar de limitações metodológicas relacionadas à unidade de análise e escassez de dados, segundo os autores, esses tipos de análise estão se tornando cada vez mais possíveis. A metodologia para o desenvolvimento do presente trabalho baseou-se no estudo de Runfola *et al.* (2017) através do uso de técnicas multicriteriais para agregação de indicadores de vulnerabilidade e também com relação à análise de sensibilidade feita pelo autor, que norteou a proposição de intervenções para redução da vulnerabilidade através de simulações na interferência da exposição física no produto final da vulnerabilidade.

Outro trabalho nessa perspectiva é o de Malta, Costa e Magrini (2017), que consiste em identificar, caracterizar e analisar as populações em situação de vulnerabilidade socioambiental, através de uma metodologia utilizando técnicas multicriteriais e SIG para elaboração de um índice representativo de variáveis sociais, econômicas, de infraestrutura urbana, ambientais, de saúde e de segurança pública na cidade do Rio de Janeiro - RJ. Essa metodologia tem sido frequentemente utilizada para tomada de decisões em políticas para grupos em situações de vulnerabilidade. Nesse trabalho, foi elaborado um mapa-índice para espacializar os resultados encontrados, favorecendo a visualização de aspectos importantes no processo da vulnerabilidade.

Malta; Costa e Magrini (2017), por meio do estudo de caso para a área urbana do Rio de Janeiro (RJ), identificaram que as piores situações de vulnerabilidade se encontram em aglomerados subnormais, corroborando com a ideia de que os efeitos negativos da urbanização recaem principalmente sobre as populações mais carentes que sofrem com a segregação espacial e estão submetidos aos riscos inerentes a sua

localização e condição social. Segundo os autores, a vulnerabilidade socioambiental está diretamente ligada à urbanização no Brasil, considerando que a infraestrutura das cidades não acompanha seu crescimento rápido e desordenado, gerando riscos de desastres de toda natureza.

Da mesma forma, o trabalho de Malta, Costa e Magrini (2017) contribuiu para o presente estudo através da proposição de uma metodologia que utiliza técnicas multicriteriais e SIG para identificar situações de vulnerabilidade, além de reafirmar a importância do uso de informações acerca de aglomerados subnormais como indicadores de vulnerabilidade, representando a sensibilidade social como dimensão da vulnerabilidade.

Este estudo surgiu a partir do trabalho de Grande *et al.* (2014), que teve o intuito de identificar situações de desigualdade no acesso à água na área urbana de Campina Grande – PB, levando em consideração períodos de escassez hídrica nos quais o racionamento foi utilizado como medida de gestão e propôs um modelo de avaliação da vulnerabilidade baseado na agregação dos critérios: econômico, com base na renda média mensal familiar por setor censitário; social, caracterizado pela presença de aglomerados subnormais; hidráulico, caracterizado pelo risco de desabastecimento; e mitigador, considerando a presença de reservatórios de água em condomínios verticais.

Com o uso do software ArcGIS, uma ferramenta de Sistema de Informação Geográfica (GIS), aqueles autores trataram os dados de rendimento mensal, local de aglomerados subnormais, dados físicos ligados ao critério hidráulico referentes à elevação e à distância a partir de reservatórios de abastecimento de água e a quantidade de moradias do tipo apartamento, bem como os relacionamentos lógicos para integrar os indicadores de desigualdade através de um modelo estabelecido pelos autores. Inicialmente relacionou-se os critérios econômico e social e gerou o mapa de vulnerabilidade com base nesses dois critérios. Em seguida, relacionou o mapa de vulnerabilidade resultante dos critérios anteriores com o mapa de risco ao desabastecimento baseado no critério hidráulico, resultando em outro mapa de vulnerabilidade, dessa vez acrescido do critério hidráulico. Este último, ainda foi relacionado com o mapa de moradias do tipo apartamento e, finalmente, chegou-se ao mapa de vulnerabilidade final baseado nos 4 indicadores. A Figura 1 apresenta o mapa final de vulnerabilidade obtido a partir do referido estudo, consideradas três classes de vulnerabilidade: muito alta, alta e sem vulnerabilidade.

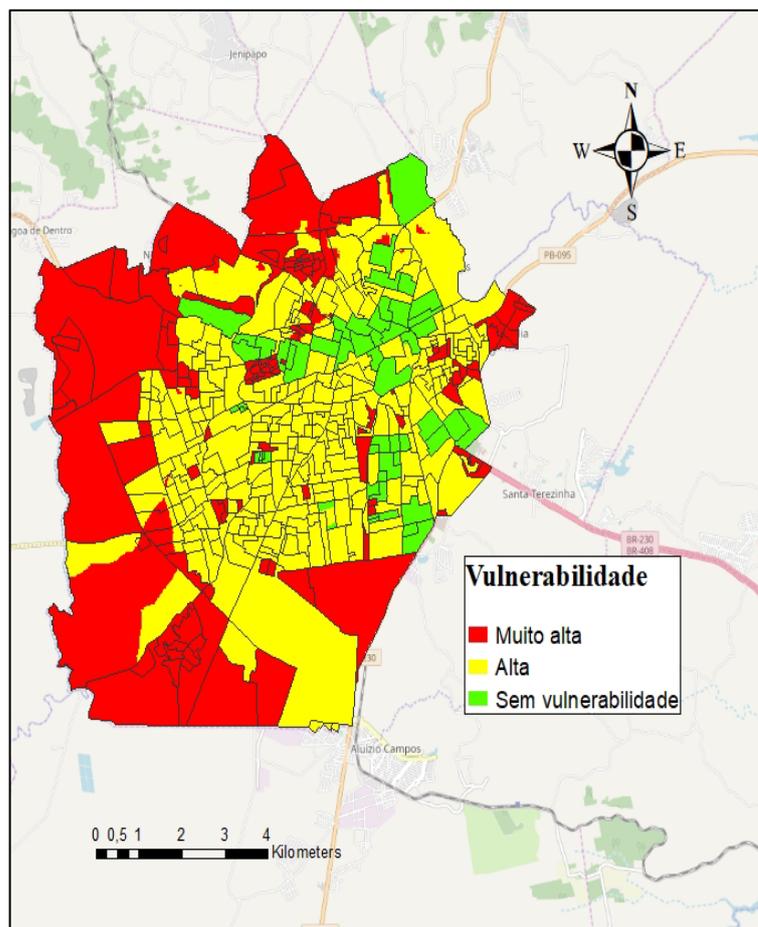


Figura 1 - Mapa final de vulnerabilidade
Fonte: Grande et al. (2014).

Grande et al. (2014) identificaram situações de desigualdade no acesso à água em Campina Grande corroborando com a ideia de que os impactos do racionamento de água são diferentes para as pessoas de acordo com sua situação socioeconômica, sua localização e seu tipo de moradia. Dessa forma, foi possível estimar a vulnerabilidade e, conseqüentemente, detectar desigualdades na vulnerabilidade dentro do espaço urbano através da combinação de informações pertinentes aos grupos sociais envolvidos.

O presente trabalho considerou o refinamento do estudo de Grande et al. (2014) através do aumento de classes de vulnerabilidade a fim de identificar alguns detalhes sobre a vulnerabilidade que o estudo anterior não conseguiu detectar para a mesma área de estudo e uma alternativa para obtenção dos dados referentes ao critério mitigador.

Outro trabalho nessa perspectiva que serviu como base também para o desenvolvimento deste estudo, foi o de Grande (2016), que teve como objetivo

analisar o acesso e distribuição de água em Campina Grande e as percepções dos usuários acerca deles a fim de verificar em que medida situações de injustiça hídrica se configuram na área urbana do município.

Grande (2016) utilizou uma amostra de domicílios, selecionada por localização e renda domiciliar e foram coletados e tratados dados acerca das ocorrências de falta de água nesses domicílios, os consumos mensais de água, impactos na rotina de uso da água percebidos pelos usuários, informações sociodemográficas dos domicílios e informações sobre a moradia, abastecimento de água domiciliar e medidas de reservação e prevenção em relação à água. Com esses dados obtidos por meio de visitas aos domicílios envolvidos na pesquisa, pôde-se observar e monitorar os níveis de dificuldade no acesso à água durante o racionamento, que foi uma medida adotada em situação de escassez hídrica no município de Campina Grande em 2014.

A partir dos resultados obtidos através da coleta desses dados referentes aos domicílios selecionados para a pesquisa, Grande (2016) concluiu que a área urbana de Campina Grande possui uma distribuição de água desigual decorrente de uma *escassez hídrica estrutural* no município que atinge com maior intensidade os domicílios localizados em áreas de risco de desabastecimento alto. Também concluiu que quanto maior a renda, maior a capacidade de reservação de água e que as camadas mais pobres da população tendem a naturalizar os impactos restritivos do racionamento. A autora também indicou que esta tendência não se verifica nos casos cuja capacidade de reservarão foi ampliada pelo uso de cisterna, um hábito cultural herdado da vivência em área rural e mantido por moradores na área urbana.

As observações em campo de Grande (2016) serviram de base para o desenvolvimento do presente estudo, a fim de categorizar a vulnerabilidade ao desabastecimento de água com o intuito de identificar as piores condições do abastecimento, visto que foram observadas desigualdades no acesso e distribuição de água na área urbana do município de Campina Grande. Os domicílios utilizados na pesquisa de campo de Grande (2016) foram localizados nos mapas de vulnerabilidade gerados para comparar os resultados obtidos em campo e nos mapas gerados pela agregação dos indicadores.

Por fim, o presente estudo utilizou como base as definições de Cardona (2003) e Mukesh; Komal; Alexander (2017) para vulnerabilidade. Os autores citados consideram a vulnerabilidade como produto de fatores que representam os condicionantes para a vulnerabilidade de diferentes eixos temáticos. Assim, os

indicadores utilizados neste estudo para avaliação da vulnerabilidade representaram as dimensões apresentadas pelos autores citados, a fim de gerar um produto obtido através união desses indicadores.

4 METODOLOGIA

A metodologia proposta baseia-se em sete etapas metodológicas principais que são apresentadas na Figura 2 seguindo a ordem em que foram cumpridas.

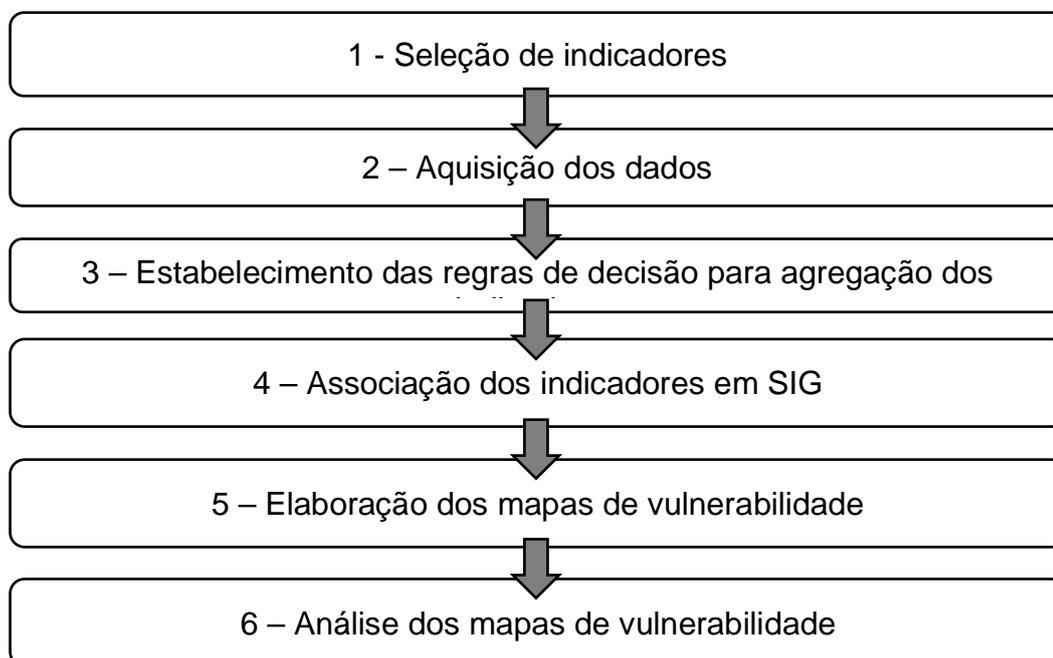


Figura 2 - Fluxograma do método

4.1 Caso de Estudo

O objeto de estudo é a cidade de Campina Grande (PB), localizada na região semiárida do Nordeste brasileiro, com altitudes que variam de 337 a 665 metros acima do nível do mar, limitada à área urbana do município, que é de 96 km², equivalente a aproximadamente 15,5% da sua área total (Figura 3). A população residente na área urbana é de 385.213 habitantes (IBGE, 2010), correspondente a 95% da população total do município. Segundo o último censo demográfico, a renda *per capita* média de Campina Grande é de R\$ 630,03, a porcentagem de pobres é de 16,34% e o Índice de Gini, um instrumento utilizado para medir o grau de concentração de renda que varia entre 0 e 1, é de 0,58, caracterizando uma leve situação de desigualdade de renda (IBGE, 2010).

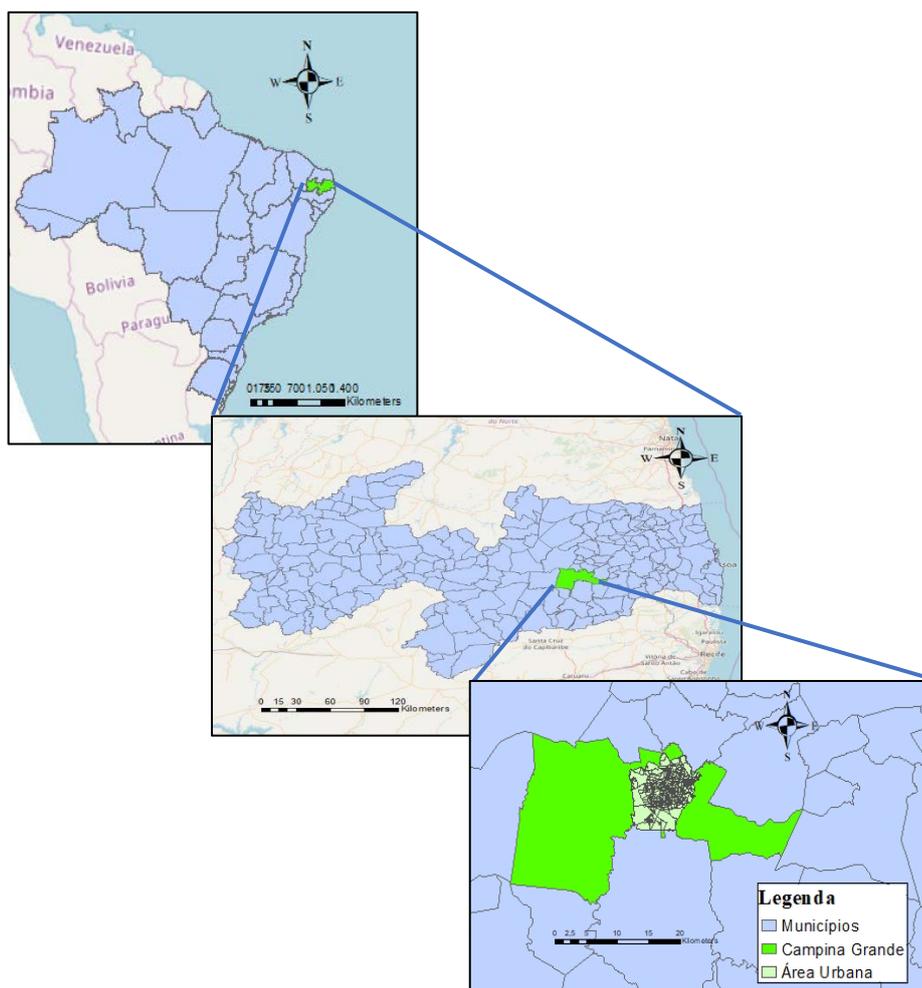


Figura 3 - Delimitação da área de estudo

Campina Grande e mais 26 municípios menores são abastecidos pelo Reservatório Epitácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão (PB). Toda a bacia hidrográfica que contribui para esse reservatório está situada na região mais seca do país, caracterizada por um regime irregular de precipitação que, em longos períodos de seca, enfrenta severas crises hídricas. Essas condições climáticas, associadas a dificuldades de gestão das águas nessa região, levaram o Reservatório Epitácio Pessoa a duas grandes crises hídricas, a primeira, de 1998 a 2000 (Rêgo *et. al.*, 2012), e a mais recente, de 2012 a 2017, as quais produziram impactos no abastecimento de água de Campina Grande, dentre eles o agravamento da intermitência no abastecimento que já é realidade no município. Em ambos os casos, a medida de gestão tomada foi o racionamento de água, que agravou consideravelmente a vulnerabilidade das populações mais expostas e sensíveis aos efeitos negativos do desabastecimento de água, levando a um acesso à água

diferenciado pela população, caracterizando situações de desigualdade (Grande *et al.*, 2016; Rêgo *et. al.*, 2012).

Segundo Grande (2016), a distribuição de água na área urbana do município de Campina Grande é desigual, caracterizada pelas dificuldades no funcionamento integral do sistema de abastecimento, possivelmente ocasionada pelo relevo acidentado do município, que interfere no acesso contínuo à água de populações que residem em locais com topografia elevada e conseqüentemente possuem maior risco de desabastecimento de água, juntamente com deficiências na rede de distribuição de água não acompanhadas por soluções de engenharia para solucionar as disparidades entre demanda e oferta de água, bem como a gestão ineficiente dos recursos hídricos na área urbana do município. Todos esses problemas constituem uma situação de *escassez hídrica estrutural* na área urbana de Campina Grande.

Por outro lado, a capacidade de reservação se configura como uma ferramenta particular de resposta à crise hídrica no município, pois parte do consumidor para resolver seu problema e não modifica a causa do problema. Segundo Grande (2016), quanto maior a renda domiciliar, maior a capacidade de reservação, o que facilita o acesso à água para os domicílios com maiores rendimentos e caracteriza uma assimetria na distribuição de água, considerando que os domicílios com menores rendimentos não têm a mesma capacidade de resposta ao problema de intermitência no abastecimento de água. É importante ressaltar que as observações de Grande (2016) não refletem a situação atual do sistema de abastecimento de água de Campina Grande, representam as situações referentes ao período anterior e durante o racionamento de água.

4.2 Unidade de análise

A disponibilidade do dado censitário acaba por influenciar na escolha do setor censitário como unidade de análise, pois é a menor escala de agregação de dados censitários. Em regiões urbanas, compreende em média 300 domicílios (IBGE, 2010). Apesar de ainda ser uma escala grande para análises detalhadas da vulnerabilidade, a escala do setor censitário apresenta vantagens em relação a outras escalas por permitir captar a diversidade sociodemográfica e ambiental dentro do município (ALVES, 2000).

4.3 Seleção dos indicadores de vulnerabilidade e aquisição dos dados

A escolha dos indicadores de vulnerabilidade para este estudo foi baseada no estudo de Grande *et al.* (2014), considerando os critérios econômico, social e hidráulico e otimizando o critério mitigador através da inserção de novos dados. O Quadro 1 apresenta os indicadores selecionados e as respectivas informações referentes às dimensões da vulnerabilidade às quais eles representam, a justificativa para escolha de cada indicador, as classes utilizadas e como esses dados foram obtidos.

Quadro 1 - Indicadores selecionados

Indicador	Dimensão da vulnerabilidade	Justificativa	Classes	Aquisição dos dados
Risco hidráulico	Exposição física	Segundo Cordão; Rufino; Araújo (2013), quanto maior a elevação e a distância do domicílio em relação ao reservatório de distribuição de água, maior será o risco de falta de água nesse domicílio.	Risco hidráulico: <ul style="list-style-type: none"> • Alto; • Médio; • Baixo 	Mapa de risco de desabastecimento em Campina Grande elaborado por Cordão; Rufino; Araújo (2013)
Renda média mensal	Sensibilidade econômica	Considerando o rendimento médio familiar mensal por setor censitário, as famílias com baixa renda são consideradas mais vulneráveis ao risco de escassez de água comparadas às famílias de média e de alta renda.	Renda média mensal por setor censitário: <ul style="list-style-type: none"> • Até 3 salários mínimos, • De 3 a 5 salários mínimos, • Acima de 5 salários mínimos 	IBGE (2010)

Quadro 1 - Indicadores selecionados (Continuação)

Indicador	Dimensão da vulnerabilidade	Justificativa	Classes	Aquisição dos dados
Presença de aglomerados subnormais	Sensibilidade social	Levando em consideração as precárias condições em que vivem, as famílias que residem em aglomerados subnormais apresentam maior vulnerabilidade socioambiental segundo Malta, Costa e Magrini (2017).	<ul style="list-style-type: none"> • Aglomerados subnormais; • Outros 	IBGE (2010)
Capacidade de reservação	Capacidade adaptativa	A presença de reservatórios no domicílio garante a continuidade do acesso à água das pessoas que residem nesses domicílios, mesmo em casos de intermitência no abastecimento de água, portanto esse indicador é considerado mitigador em relação à vulnerabilidade. Segundo Grande (2016), o aumento da capacidade de reservação modifica a percepção sobre o desabastecimento.	<p>Percentual dos domicílios com capacidade de reservação por setor censitário:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Abaixo de 50%; • Acima de 50% 	Mosaico de imagens aéreas de alta resolução espacial (10x10 cm) de Campina Grande (SEPLAN/PMCG (2014)

A escolha das classes utilizadas para cada indicador neste estudo foi baseada nas classes utilizadas em mapas e dados pré-existentes, como é o caso dos indicadores *Risco hidráulico* e *Aglomerados subnormais*, respectivamente, e na obtenção preliminar dos resultados para o restante dos indicadores na tentativa de otimizar os resultados referentes à vulnerabilidade obtidos.

Para o caso do indicador *Renda média mensal*, a princípio, foi dividida em 5 classes: *Até 1 salário mínimo*, *entre 1 e 3 salários mínimos*, *entre 3 e 5 salários mínimos*, *entre 5 e 10 salários mínimos* e *acima de 10 salários mínimos*; essas classes estão dentro das classes utilizadas pelo IBGE para dividir as classes sociais com base na renda, porém percebeu-se que as duas primeiras classes apresentavam o mesmo nível de vulnerabilidade a partir do modelo de combinação de indicadores estabelecido, o mesmo aconteceu com as duas últimas classes, portanto resolveu-se suprimi-las de forma a deixar apenas três classes para o indicador.

Para o caso o indicador *Capacidade de reservação*, a escolha das classes baseou-se na observação preliminar dos resultados considerando também a divisão de classes utilizado por Grande *et al.* (2014) em seu critério mitigador que em seu trabalho considerou três classes com relação ao percentual de domicílios do tipo apartamento por setor censitário: *Até 25%*, *de 25% a 50%* e *acima de 50%*. No intuito de expandir o estudo anterior, este trabalho agregou as informações referentes aos reservatórios observados nas imagens aéreas e considerando os primeiros resultados referentes ao percentual de domicílios com capacidade de reservação, decidiu-se adaptar as classes utilizadas no estudo de Grande *et al.* (2014), utilizando apenas duas classes unificando as duas primeiras e considerando a última como requisito para atenuação da vulnerabilidade.

Para detectar a presença ou não de reservatórios nos domicílios, foi utilizado um mosaico de imagens aéreas de alta resolução espacial (10x10 cm) e sua respectiva representação vetorial em forma de mapa digital com informações de delimitações do lote, uso do solo e de edificações do meio urbano (Figura 4-A). Estas informações foram cedidas pela Secretaria de Planejamento – SEPLAN – da Prefeitura Municipal de Campina Grande (PMCG). A identificação dos reservatórios ocorreu fazendo uso da interpretação visual da imagem utilizando um Sistema de Informação Geográfica (ArcGIS 10.5). Foram considerados como reservatório: caixas d'água de polietileno (Figura 4-B), caracterizadas por um polígono circular azul no telhado dos domicílios; caixas d'água de concreto/alvenaria/fibrocimento (Figura 4-C),

caracterizadas por polígonos retangulares de cor escura diferente da cor do telhado; e piscinas (Figura 4–D), levando em consideração que as piscinas constituem também uma forma de armazenamento de água, podendo ser detectadas através de um polígono circular, elipsoidal ou retangular azul nos domicílios.

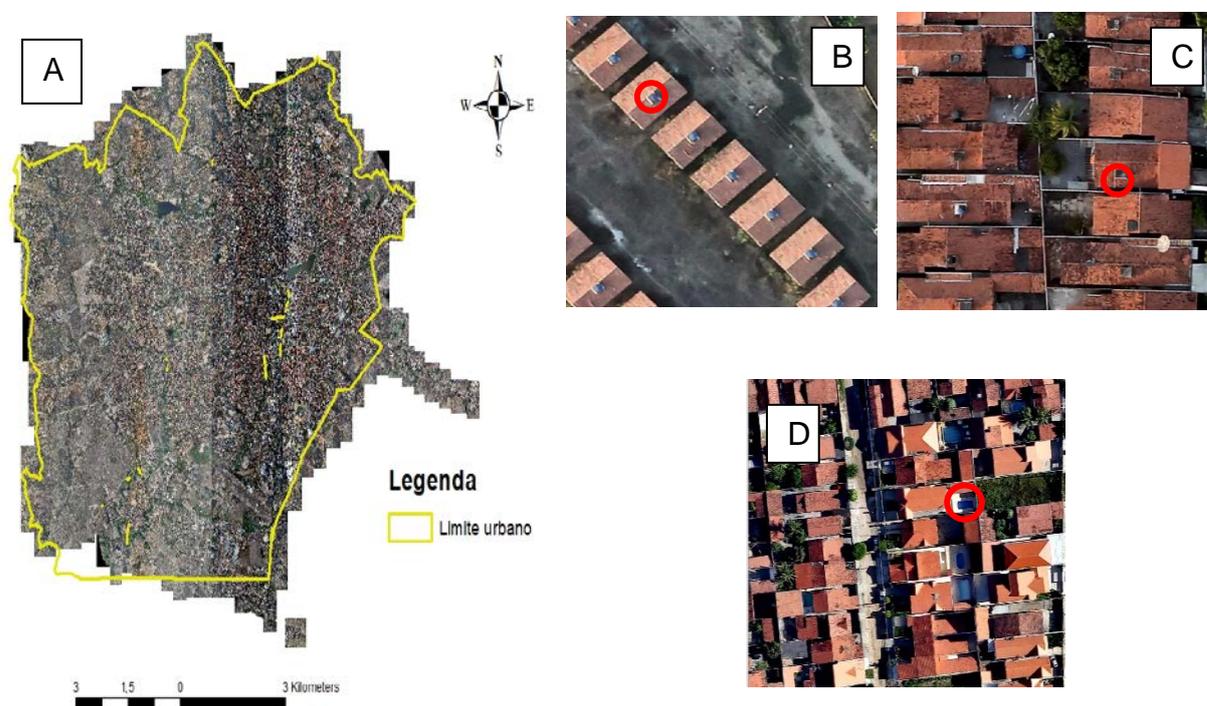


Figura 4 - (A) Mosaico de imagem com representação vetorial de Campina Grande – PB – Fonte: SEPLAN/PMCG (2014); (B) Caixas d’água de polietileno; (C) Caixas d’água de concreto/alvenaria/fibrocimento; (D) Piscinas

Dessa forma, para saber a quantidade total de domicílios com reservatório e o percentual destes por setor censitário, considerando os condomínios verticais, foi necessário utilizar as variáveis *V005* e *V002* da planilha *Domicilio01_PB.xls* (IBGE, 2010), que informam, respectivamente, a quantidade de domicílios particulares permanentes do tipo apartamento por setor censitário e a quantidade de domicílios particulares permanentes. Observando que todos os condomínios verticais possuem caixas d’água e que eles não foram incluídos na contagem, a quantidade total de domicílios com reservatório é obtida através da soma dos dados referentes à contagem dos domicílios com reservatório com os dados da *V005*. Tendo essa quantidade total, divide-se pela *V002* para obter o percentual de domicílios com caixa d’água por setor censitário, como mostra a Equação 1.

$$\%_{\text{domicílios}} = \left(\frac{\text{contagem} + V005}{V002} \right) \times 100\% \quad \text{Equação 1}$$

Vale destacar que os dados referentes a esse indicador têm um certo grau de incerteza, o qual não foi avaliado nesse estudo, levando em consideração a ausência de dados de outros reservatórios que porventura existam, mas que não foram detectados na interpretação visual da imagem. Para uma futura replicação deste estudo para outras áreas faz-se necessário uma automação do processo de identificação visual a partir de imagens aéreas da área em estudo.

4.4 Tratamento dos dados em SIG

Assim como em estudos anteriores como o de Grande *et al.* (2014), este trabalho empregou a ferramenta SIG, através do programa ArcGIS 10.5 para agregar indicadores de vulnerabilidade selecionados a fim de identificar e espacializar as áreas mais vulneráveis em relação ao abastecimento de água no perímetro urbano de Campina Grande. A análise multicriterial espacial pôde combinar e transformar dados espaciais referentes aos indicadores e gerar como resposta as áreas mais vulneráveis na área urbana do município de Campina Grande com relação ao abastecimento de água. A vulnerabilidade foi classificada neste estudo em: *muito alta, alta, média, baixa e muito baixa*. Este estudo, com o intuito de refinar a metodologia proposta por Grande *et al.* (2014), considerando também os períodos em que a população não está submetida ao racionamento de água e ainda assim enfrenta a intermitência no abastecimento de água modificou as regras de decisão estabelecidas de forma a compensar a interferência de cada indicador dentro do modelo e agregando os dados referentes à capacidade de reservação em residências unifamiliares através da identificação visual do mosaico de imagens aéreas do perímetro urbano de Campina Grande para identificar situações de vulnerabilidade no município.

A princípio foram agregados os indicadores: risco hidráulico, renda média mensal e aglomerados subnormais através das regras de decisão apresentadas no Quadro 2 no intuito de avaliar a vulnerabilidade no abastecimento de água por setor censitário em Campina Grande.

Quadro 2 – Regras de decisão estabelecidas para agregação dos indicadores risco hidráulico, renda média mensal e presença de aglomerados subnormais

Vulnerabilidade		Renda média mensal e Aglomerados subnormais		
		Até 3 salários mínimos OU Aglomerado subnormal	De 3 a 5 salários mínimos	Acima de 5 salários mínimos
Risco	Alto	Muito alta	Alta	Média
	Médio	Alta	Média	Baixa
	Baixo	Média	Baixa	Muito baixa

Fonte: Autoria própria

Foram elaborados mapas temáticos da área urbana do município de Campina Grande dividido por setores censitários para os indicadores risco hidráulico, renda média mensal e aglomerados subnormais. Com base nos mapas obtidos para cada indicador foi feita a álgebra de mapas considerando as regras de decisão estabelecidas no Quadro 2 e foi gerado o *Mapa de Vulnerabilidade* ao desabastecimento de água em Campina Grande resultante da agregação desses três indicadores.

Com o intuito de avaliar a vulnerabilidade ao desabastecimento de água considerando agora a capacidade adaptativa dos consumidores de água foi adicionado o indicador capacidade de reservação ao modelo estabelecido no Quadro 2. Esse indicador tem efeito mitigador sobre a vulnerabilidade por se tratar de uma capacidade de adaptação diante do desastre de desabastecimento de água, pois as interrupções na oferta podem ser mitigadas devido à presença de reservatório de água no domicílio. Por outro lado, deve ser levado em consideração que a capacidade de reservação não melhora a condição do abastecimento de água no geral, pois é uma medida particular, adotada pelo consumidor de água para solução do seu problema em específico e não modifica a causa do problema, apesar de contribuir para redução da vulnerabilidade de cada usuário.

Dessa maneira, tendo como base as regras de decisão estabelecidas no Quadro 2, foram consideradas as regras de decisão apresentadas no Quadro 3 para agregação do indicador capacidade de reservação ao modelo. Como pode ser observado no Quadro 3, o fato de um setor censitário apresentar mais que 50% dos seus domicílios com capacidade de reservação reduz a sua vulnerabilidade em um

nível, com exceção dos casos em que a vulnerabilidade já é muito baixa ou em que a vulnerabilidade era considerada alta, que se manteria alta, pois segundo Grande (2016), a capacidade de reservação está associada à renda e requer um maior esforço físico dos usuários de menor renda para ter acesso à água reservada, fazendo com que não haja redução da vulnerabilidade nesses casos.

Quadro 3 - Regras de decisão estabelecidas para agregação do indicador capacidade de reservação ao modelo

Vulnerabilidade atenuada		Percentual de domicílios com capacidade de reservação	
		Acima de 50%	
Vulnerabilidade	Muito alta	Alta	
	Alta	Alta	
	Média	Baixa	
	Baixa	Muito Baixa	
	Muito baixa	Muito Baixa	

Fonte: Autoria própria

Foi elaborado o mapa referente ao indicador capacidade de reservação para a área urbana de Campina Grande e ao ser feita a álgebra de mapas com o mapa de vulnerabilidade resultante das regras de decisão do Quadro 3, foi gerado o *Mapa de Vulnerabilidade Atenuada*.

4.5 Proposição de intervenções

Com o intuito de avaliar o comportamento da vulnerabilidade ao desabastecimento de água após intervenções no risco hidráulico foram feitas simulações no modelo estabelecido no Quadro 2 a fim de identificar áreas que teriam sua vulnerabilidade ao desabastecimento de água reduzida através da percepção de mudanças no mapa de vulnerabilidade. Dessa maneira, foram testadas melhores situações no risco hidráulico através de propostas de intervenções no sistema de abastecimento de água e foi avaliada a nova situação da vulnerabilidade após essa intervenção.

Foi elaborado um mapa da área urbana do município de Campina Grande, identificando as áreas que teriam sua vulnerabilidade ao desabastecimento de água

reduzida se fossem feitas intervenções em seu risco hidráulico. Como pode ser observado na Figura 5, foram estabelecidos dois cenários para estimar a vulnerabilidade ao desabastecimento de água após as intervenções. No primeiro cenário, foi considerada a redução do risco hidráulico de alto e médio para baixo. No segundo cenário, foi considerada apenas a redução do risco hidráulico de alto para médio. Foram elaborados os mapas de vulnerabilidade ao desabastecimento de água para Campina Grande considerando os dois cenários.

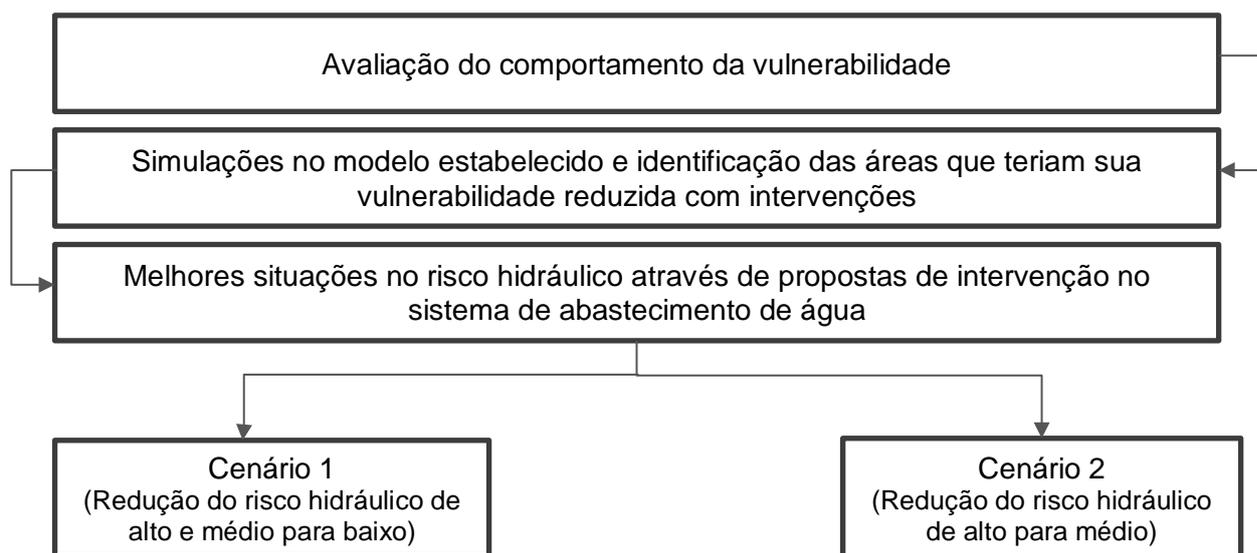


Figura 5 - Fluxograma da metodologia para proposição de intervenções
Fonte: Autoria própria

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Agregação dos indicadores de vulnerabilidade

Os dados referentes a cada indicador selecionado foram espacializados em SIG e foram gerados mapas do município de Campina Grande dividido em setores censitários para cada indicador selecionado. A partir desses mapas foi gerado o mapa de vulnerabilidade de acordo com a união das informações referente aos indicadores.

O indicador *Risco hidráulico*, que representa a exposição física como dimensão da vulnerabilidade ao desabastecimento de água, foi dividido em três classes: alto, médio e baixo, de acordo com o estudo de Cordão; Rufino; Araújo (2013). As áreas identificadas como de risco hidráulico alto são aquelas que apresentam as piores condições com relação à topografia e à distância dos reservatórios de distribuição de água, gerando problemas no abastecimento de água em situações de intermitência. A Figura 6 representa o mapa da área urbana de Campina Grande contendo as informações referentes ao risco hidráulico no município.

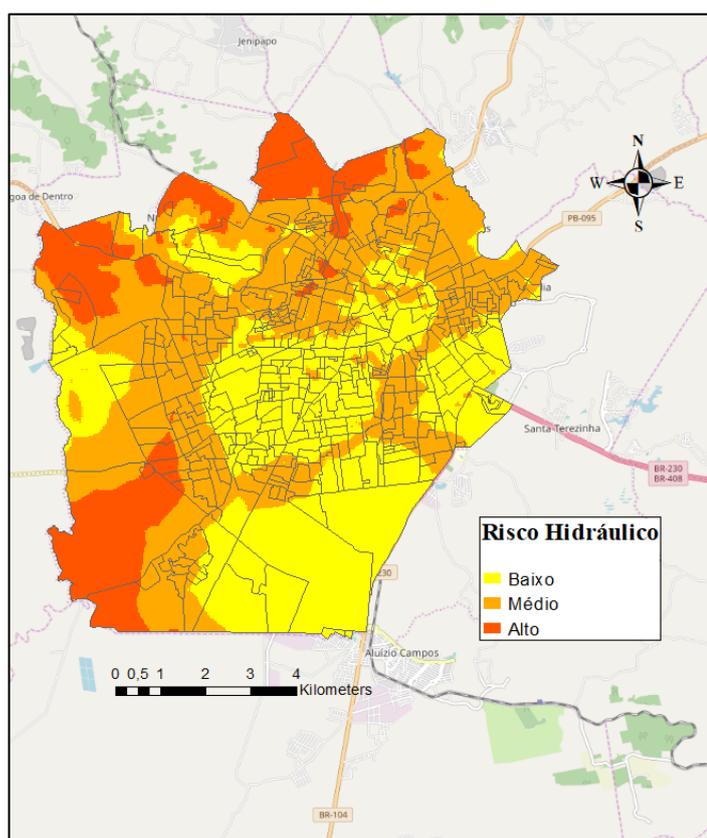


Figura 6 - Risco de desabastecimento na área urbana de Campina Grande – PB
Fonte: Cordão; Rufino; Araújo (2013)

O indicador *Renda média mensal*, que representa a sensibilidade econômica como dimensão da vulnerabilidade ao desabastecimento de água, reuniu dados referentes ao rendimento médio das famílias por mês em cada setor censitário fornecidos pelo último censo demográfico do IBGE realizado em 2010. A renda média mensal foi dividida em três classes distintas de acordo com a necessidade do modelo estabelecido: até 3 salários mínimos, de 3 a 5 salários mínimos e acima de 5 salários mínimos. As piores condições de renda, referentes aos setores censitários com renda média mensal abaixo de 3 salários mínimos agravam a situação da vulnerabilidade ao desabastecimento de água. A Figura 7 representa o mapa da área urbana de Campina Grande contendo as informações referentes à renda média mensal por setor censitário do município.

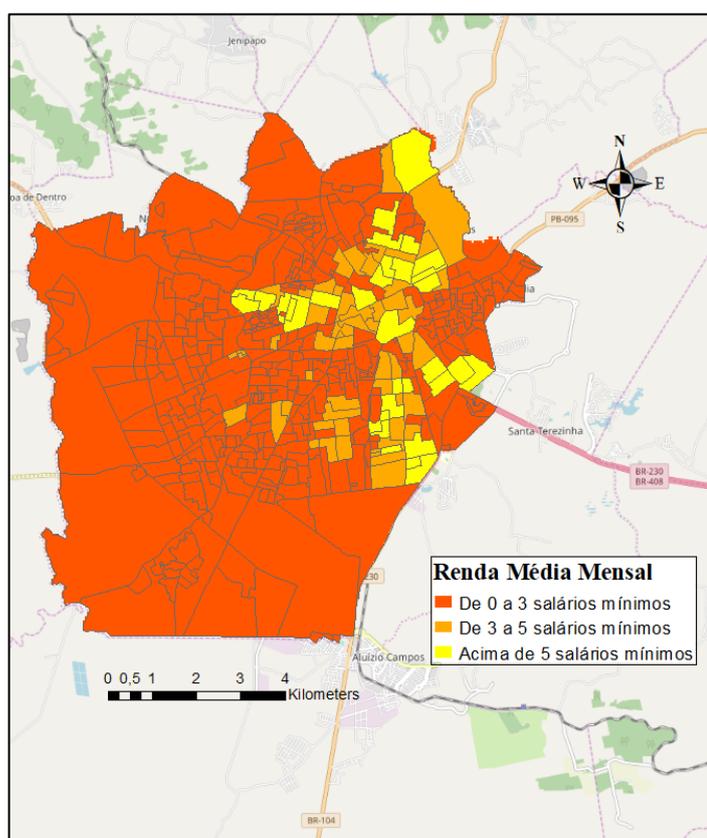


Figura 7 - Renda média mensal por setor censitário da área urbana de Campina Grande – PB
Fonte: IBGE, 2010

O indicador *Aglomerados subnormais*, que representa a sensibilidade social como dimensão da vulnerabilidade, agregou informações acerca da localização dos setores censitários com a presença de aglomerados subnormais de acordo com o último censo demográfico do IBGE em 2010. Os aglomerados subnormais apresentam condições precárias de moradia, o que interfere bastante na sua vulnerabilidade ao desabastecimento de água em situações de intermitência no abastecimento. A Figura 8 apresenta o mapa da área urbana do município de Campina Grande com a localização dos setores censitários com presença de aglomerados subnormais.

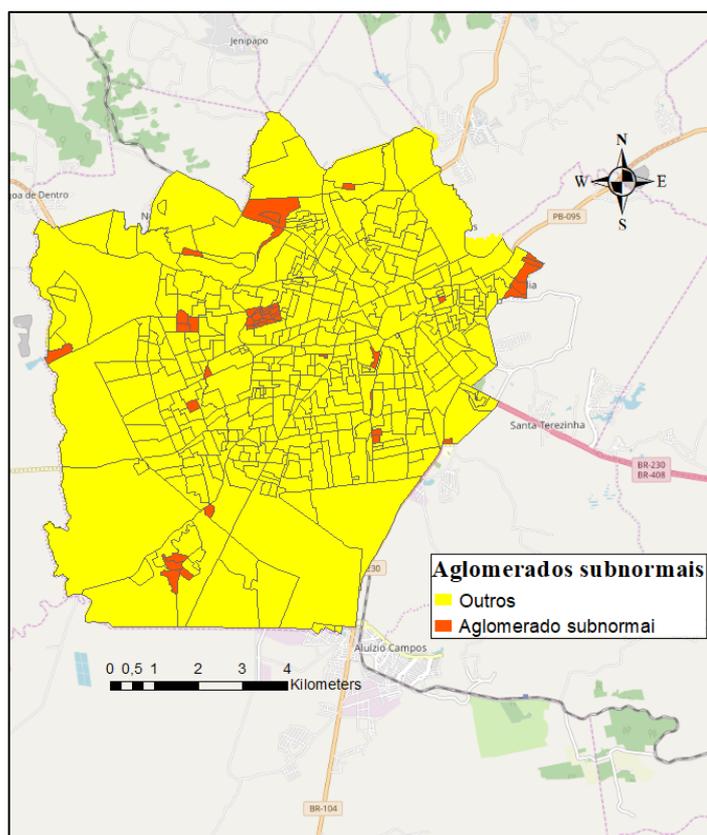


Figura 8 - Localização de aglomerados subnormais na área urbana em Campina Grande – PB
Fonte: IBGE, 2010

Com base nos mapas dos indicadores risco hidráulico (Figura 6), renda média mensal por setor censitário (Figura 7) e dos aglomerados subnormais da área urbana de Campina Grande (Figura 8), os dados foram sobrepostos e pôde-se elaborar o mapa de vulnerabilidade por setor censitário (Figura 9) e o mapa de vulnerabilidade acrescentando a delimitação da área urbana do município por bairro (Figura 10) de acordo com as regras de decisão estabelecidas no Quadro 2.

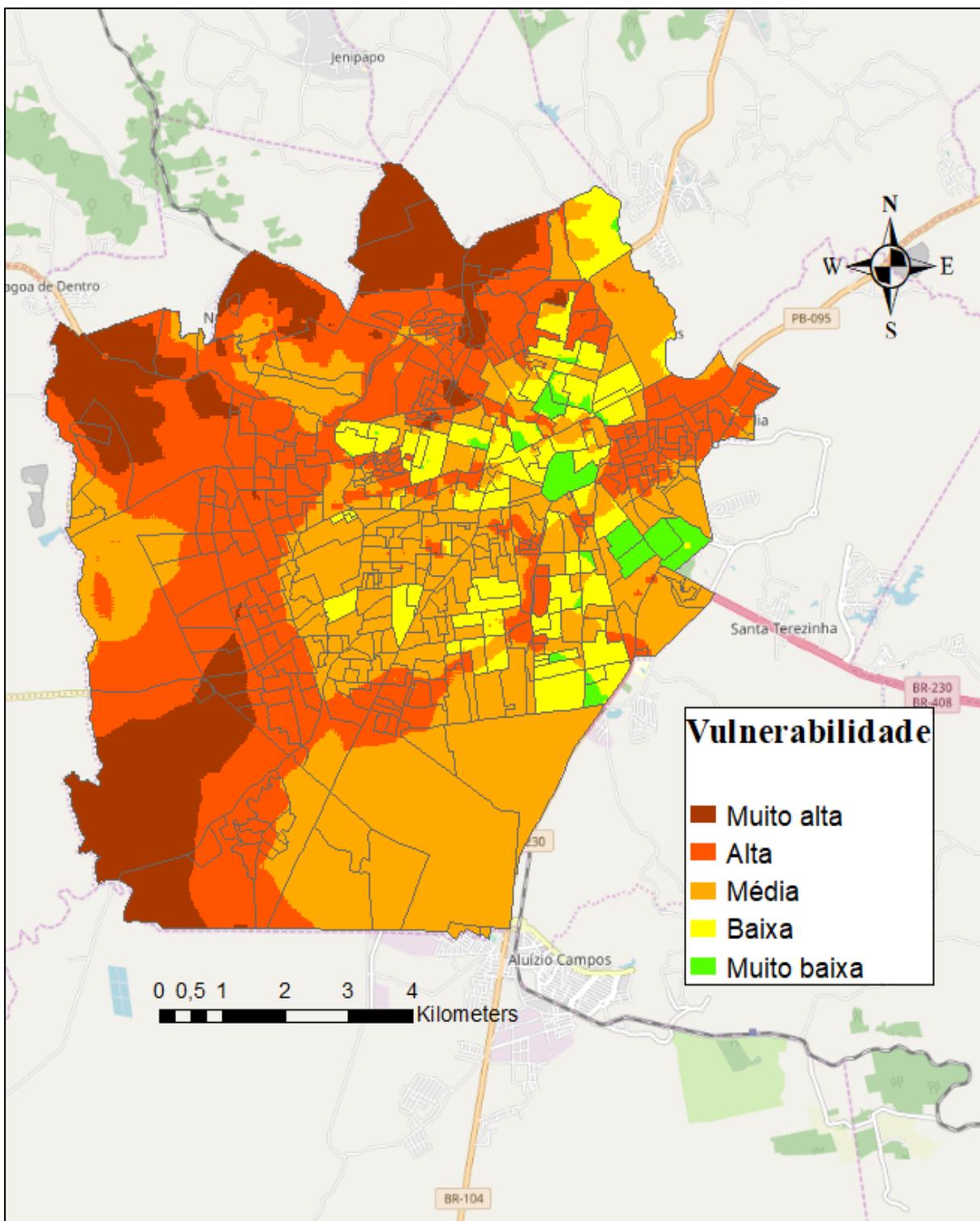


Figura 9 - Mapa de vulnerabilidade por setor censitário
Fonte: Autoria própria

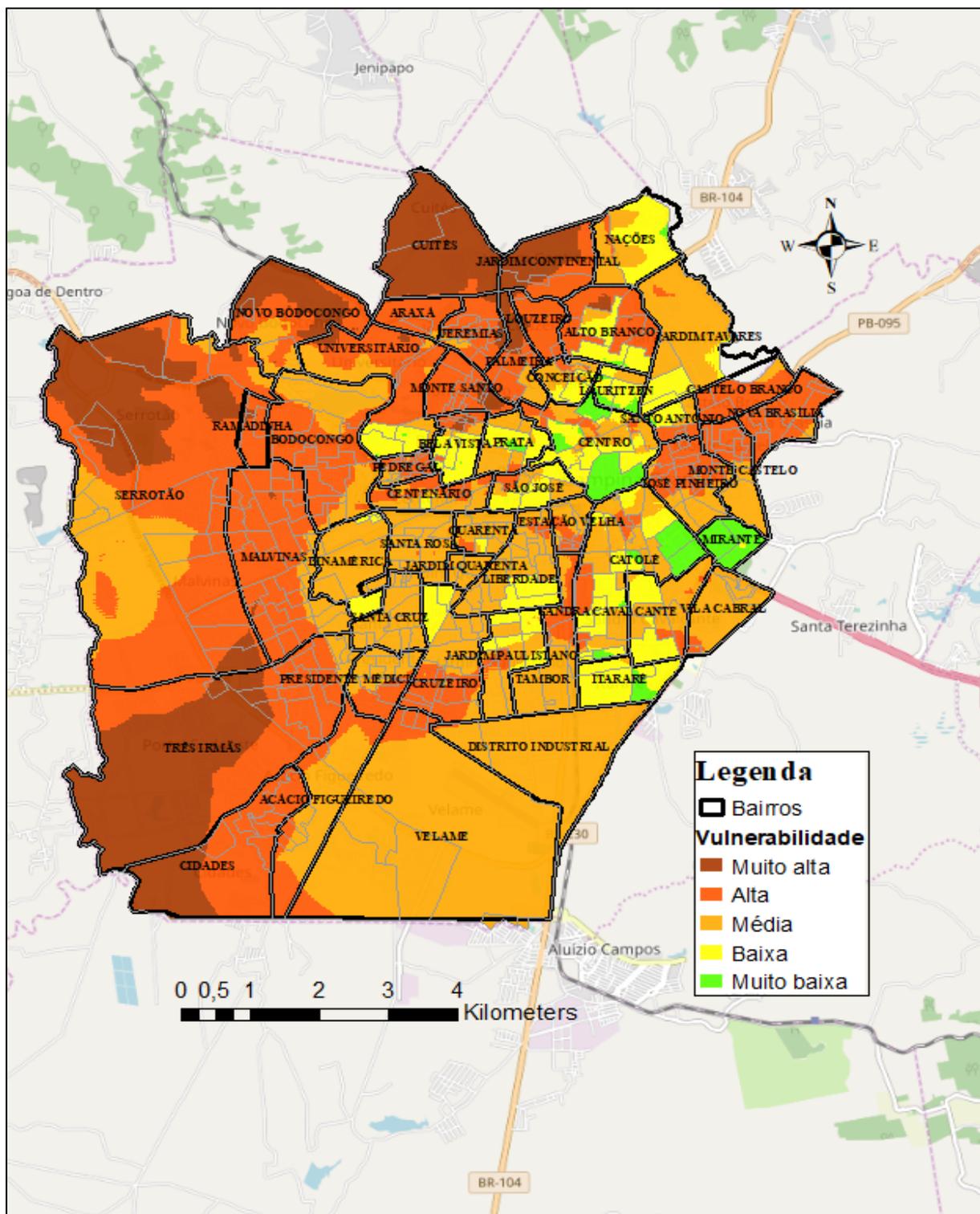


Figura 10 - Mapa de vulnerabilidade por bairro
 Fonte: Autoria própria

A seleção dos indicadores para avaliação da vulnerabilidade neste estudo corrobora com a definição de Cardona (2003) e Mukesh; Komal; Alexander (2017) que a vulnerabilidade é fruto da união de fatores de diferentes naturezas que representam a exposição, sensibilidade e capacidade de adaptação de uma comunidade frente a um desastre, como o desabastecimento de água.

É possível observar na Figura 6 e na Figura 9 que o indicador *Risco hidráulico* influencia na vulnerabilidade ao desabastecimento de água em situações de intermitência no abastecimento deste recurso delimitando as regiões com vulnerabilidade muito alta pelo alto risco hidráulico. As áreas delimitadas pelo risco hidráulico (Figura 6) se mantiveram em sua maioria no mapa de vulnerabilidade da Figura 9 após serem agregados os outros indicadores selecionados, alguns sofrendo interferência direta desses outros indicadores, outros não. Como é o caso de setores censitários localizados nos bairros Três Irmãs, Serrotão, Novo Bodocongó, Cuités e Jardim Continental, que apresentam *Vulnerabilidade muito alta* como pode ser observado na Figura 10, influenciada principalmente pelo alto risco hidráulico nessas regiões.

As regiões que apresentaram *risco hidráulico alto* na Figura 6, apresentaram *vulnerabilidade muito alta, alta e média*, ou seja, os outros indicadores do modelo estabelecido não foram suficientes para compensar o alto risco hidráulico e tornar a vulnerabilidade baixa, contribuindo para uma elevada vulnerabilidade nessas localidades. Para as regiões onde o *risco hidráulico* foi identificado como *baixo*, a vulnerabilidade, mesmo sofrendo interferência dos outros indicadores se mostrou como de grau *muito baixo, baixo e médio*. Da mesma forma, as regiões com *risco hidráulico médio* delimitaram a vulnerabilidade como no máximo de grau *alto* devido à interferência dos outros indicadores pelo modelo estabelecido.

Dessa forma, pode-se afirmar que em situações de intermitência no abastecimento de água, os domicílios localizados em regiões de alto risco hidráulico estão mais vulneráveis ao desabastecimento de água, por estarem localizadas em áreas mais elevadas e mais afastadas em relação aos reservatórios de distribuição de água devido a sua marginalização no espaço urbano, corroborando com a ideia de que a intermitência no abastecimento gera uma distribuição desigual de água para os domicílios. Em casos de intermitência no abastecimento, os domicílios localizados em áreas de alto risco hidráulico são as primeiras a sentirem a falta de água e as últimas

a receber água após o reestabelecimento do abastecimento, caracterizando uma alta vulnerabilidade ao desabastecimento de água.

Os indicadores *Renda média mensal* e *Aglomerados subnormais*, que representam a dimensão sensibilidade socioeconômica da vulnerabilidade neste estudo, agregaram informações referentes às condições socioeconômicas dos setores censitários ao modelo. É possível identificar nos mapas da Figura 7 e da Figura 8 e no mapa de vulnerabilidade da Figura 9 que em algumas regiões a *presença de aglomerados subnormais* e a *renda média mensal baixa* contribuíram para gerar um grau de vulnerabilidade relativamente maior. Embora delimitadas pelo *risco hidráulico*, essas regiões tiveram sua vulnerabilidade ao desabastecimento de água compensada por suas condições socioeconômicas, pois se tratam de áreas com *risco de hidráulico médio e baixo*, porém com *renda média até no máximo 3 salários mínimos* ou com *presença de aglomerados subnormais*, gerando *vulnerabilidade média e alta*, respectivamente, mas não chegando a ter *vulnerabilidade muito alta*.

É possível identificar que a grande maioria das áreas identificadas com *risco hidráulico médio* (Figura 6) apresentaram *vulnerabilidade alta* (Figura 9), isso quer dizer que a renda baixa e/ou a presença de aglomerados subnormais nessas áreas contribuíram para compensar o médio risco hidráulico e caracterizaram essas áreas como de *vulnerabilidade alta*. isso pode ser observado em setores censitários de alguns bairros, como por exemplo os bairros Malvinas, Monte Santo e Araxá (Figura 10) que apresentam *Vulnerabilidade alta* delimitada pelo risco hidráulico médio.

Levando em consideração que em situações de intermitência no abastecimento de água, as famílias com rendimento médio mensal elevado conseguem angariar outras formas de abastecimento a fim de não sentir a falta de água enquanto o abastecimento normal não se reestabelece, as famílias com rendimento relativamente baixo tornam-se mais vulneráveis ao desabastecimento de água por não ter essa mesma capacidade. Da mesma forma, os aglomerados subnormais também são mais sensíveis ao desabastecimento de água por apresentarem uma infraestrutura precária devido à falta de planejamento urbano nessas localidades corroborando com a ideia de que eles são os que mais sentem os efeitos negativos da urbanização e as principais áreas em situação de vulnerabilidade socioambiental de acordo com o estudo de Malta, Costa e Magrini (2017).

A partir da identificação visual e de dados censitários, pôde-se obter o percentual de domicílios com capacidade de reservação por setor censitário. Esses

dados foram divididos em duas classes: abaixo de 50% e acima de 50%. O indicador *Capacidade de reservação* foi considerado como atenuante da vulnerabilidade, portanto, as melhores condições estão nos setores censitários com percentual de domicílios com capacidade de reservação superior a 50%, reduzindo a vulnerabilidade dos setores com essa característica, considerando a reservação de água como uma medida adaptativa tomada pelos consumidores frente ao desabastecimento de água em situações de intermitência no abastecimento. A Figura 11 apresenta o mapa da área urbana do município de Campina Grande com as informações acerca da capacidade de reservação por setor censitário no município.

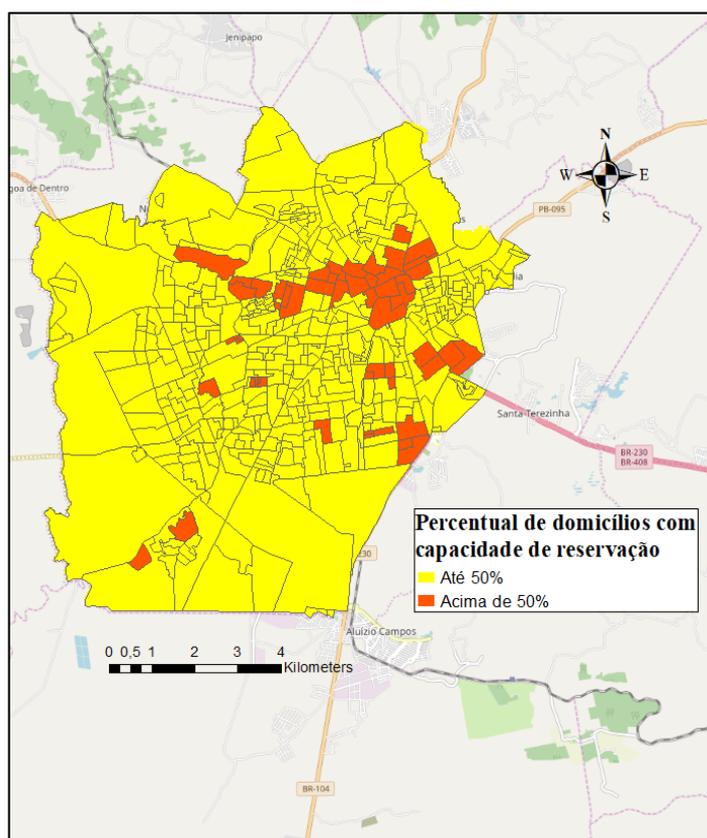


Figura 11 - Percentual de domicílios com capacidade de reservação por setor censitário na área urbana de Campina Grande – PB
Fonte: Autoria própria

A partir do mapa de vulnerabilidade da Figura 8 pôde-se fazer a álgebra de mapas através sobreposição dos dados referentes ao mapa do indicador capacidade de reservação (Figura 11) e aplicar as regras de decisão estabelecidas no Quadro 3 para gerar o mapa de vulnerabilidade atenuada por setor censitário (Figura 12) e o mapa de vulnerabilidade acrescentando a delimitação da área urbana do município por bairro (Figura 13).

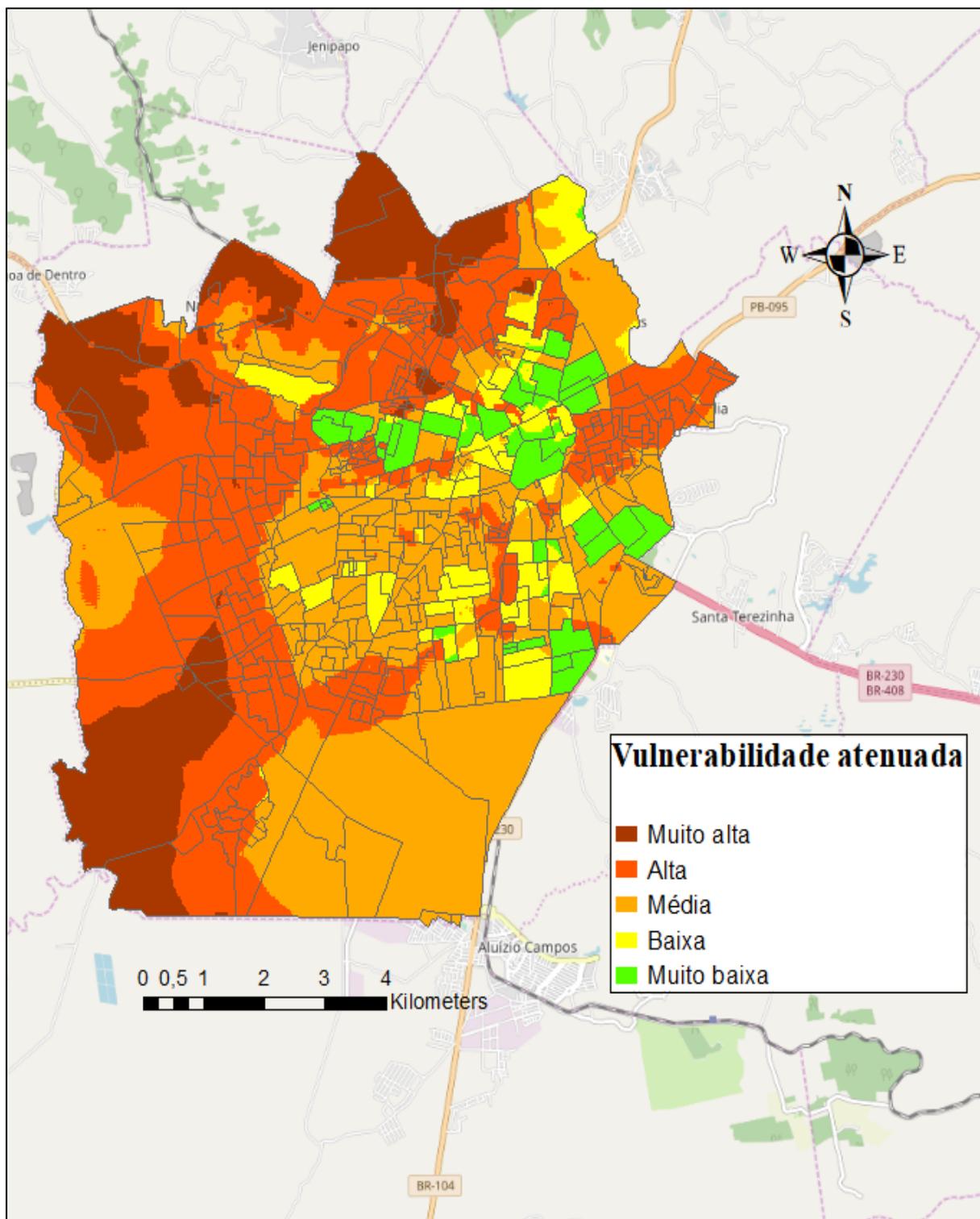


Figura 12 - Mapa de vulnerabilidade atenuada por setor censitário
Fonte: Autoria própria

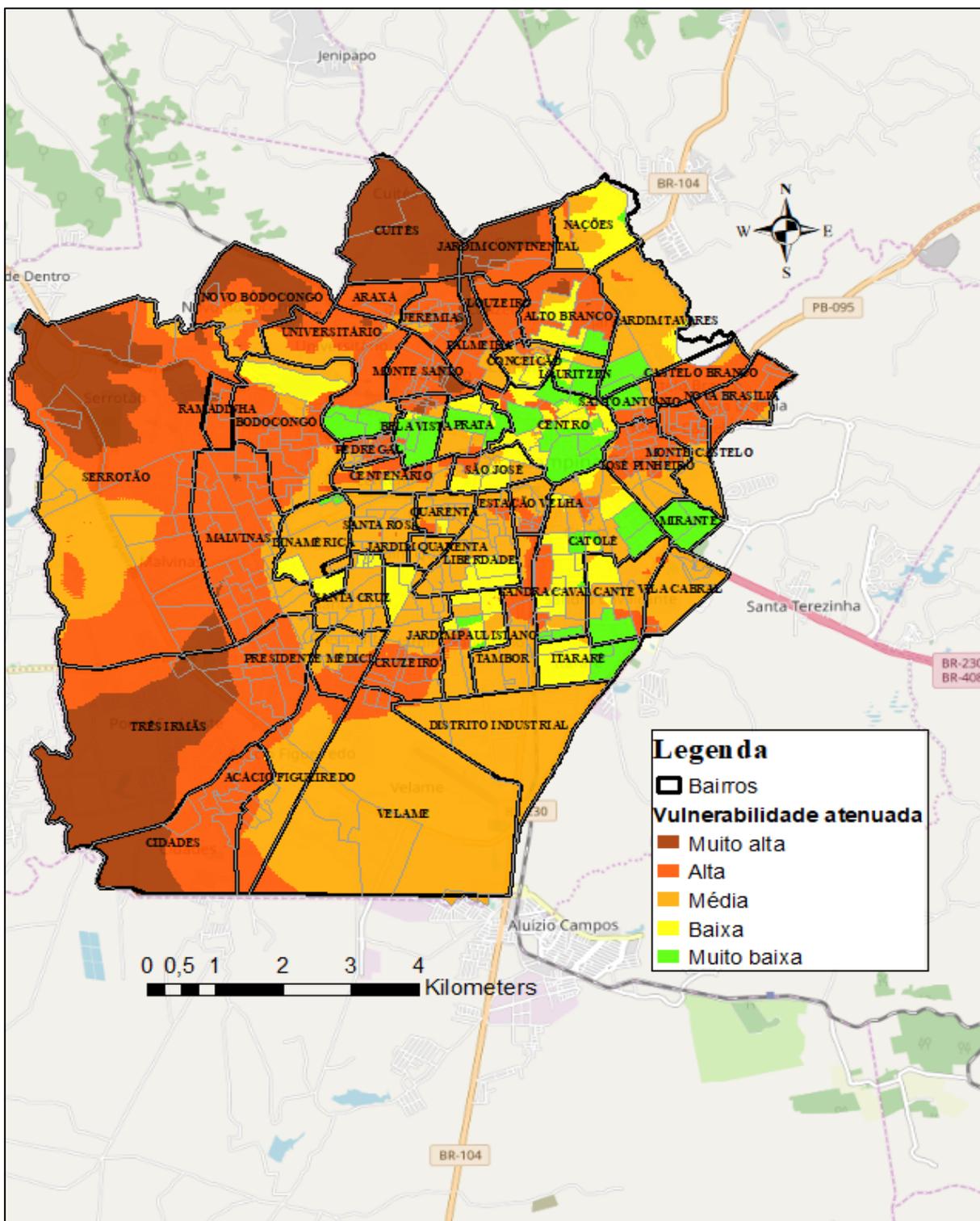


Figura 13 - Mapa de vulnerabilidade atenuada por bairro
Fonte: Autoria própria.

O indicador *Capacidade de reservação*, que representou no modelo a dimensão capacidade de adaptação da vulnerabilidade, agregou informações acerca da capacidade de reservação dos domicílios ao mapa gerado pelo conjunto de indicadores de vulnerabilidade ao desabastecimento de água. Apesar de ser uma medida que não muda a causa do problema do desabastecimento de água no geral, interfere na vulnerabilidade do domicílio em situações de intermitência no abastecimento, pois é utilizada pelos consumidores de água como uma solução para seu problema e modifica sua percepção acerca do desabastecimento de água.

A partir da Figura 11 pode-se afirmar que na área urbana de Campina Grande poucos setores censitários apresentam mais que 50% de seus domicílios com capacidade de reservação, dessa forma pode-se concluir que a capacidade adaptativa do município é baixa. Por outro lado, mesmo que ainda sejam poucos os setores censitários com boa capacidade adaptativa, ao agregar essas informações ao mapa de vulnerabilidade gerado pelo conjunto de indicadores (Figura 10) para avaliar a vulnerabilidade, tiveram sua vulnerabilidade reduzida (Figura 12). Dentre esses setores, a maioria deles tinham *vulnerabilidade baixa* e passaram a ter *vulnerabilidade muito baixa* com a agregação do indicador *capacidade de reservação*, outros tinham *vulnerabilidade alta* ou *média* que passou a ser *baixa* de acordo com as regras de decisão estabelecidas no Quadro 3. É importante destacar que os setores censitários que apresentaram *vulnerabilidade muito alta* de acordo com a Figura 8 não tiveram sua vulnerabilidade reduzida, pois nenhum deles apresentou boa capacidade de adaptação. Na Figura 13 é possível observar que atenuação da vulnerabilidade pela introdução do indicador *Capacidade de reservação* ocorreu principalmente nos bairros *Prata, Centro e Mirante* que apresentam boa capacidade de adaptação.

5.2 Avaliação da vulnerabilidade

Os mapas de vulnerabilidade gerados pelas regras de decisão estabelecidas por este estudo apresentaram algumas diferenças em relação aos do estudo de Grande *et al.* (2014). Primeiramente, este trabalho priorizou o detalhamento na identificação da vulnerabilidade por meio da ampliação das classes, considerando as novas classes como partes das classes estabelecidas no estudo anterior. Por exemplo, foi possível identificar situações de vulnerabilidade que eram consideradas altas no estudo anterior, mas que as características referentes aos indicadores

mostraram que a vulnerabilidade poderia ser considerada média devido ao detalhamento das classes.

Enquanto os setores censitários *Sem Vulnerabilidade* do estudo anterior coincidem em grande parte com os setores com vulnerabilidades *Baixa* e *Muito Baixa* deste estudo, os setores com vulnerabilidade *Muito Alta* e *Alta* do estudo anterior também coincidem com os setores com vulnerabilidade *Muito Alta* deste estudo, e os setores com Vulnerabilidade *Alta* e *Média* mostraram uma diferenciação não percebida no estudo anterior.

Por outro lado, o estudo de Grande *et al.* (2014) considerou em seu modelo de avaliação da vulnerabilidade que os setores censitários que apresentavam a *presença de aglomerados subnormais* ou que tinham *rendimento médio mensal familiar inferior a 1 salário mínimo* eram considerados com *vulnerabilidade muito alta* independente do seu risco hidráulico, com exceção dos que possuíam *mais de 50% dos seus domicílios do tipo apartamento*. Para este estudo, as situações mais frágeis dos indicadores socioeconômicos sofreram interferência do *risco hidráulico* considerado *baixo* de acordo com as regras de decisão estabelecidas no Quadro 1. É possível observar isso nos mapas da Figura 9 e da Figura 10, nos setores censitários localizados a sudeste da área urbana de Campina Grande – PB, nos bairros do *Velame* e *Distrito Industrial* apresentam *renda média mensal inferior a 3 salários mínimos* e *risco hidráulico baixo*, dessa maneira a vulnerabilidade dessas localidades de acordo com o modelo estabelecido nesse estudo é considerada *média*, enquanto que no estudo anterior é considerada *muito alta* ou *alta* (Figura 1).

Levando em consideração o estudo de Grande (2016), os domicílios selecionados para análise do acesso e distribuição de água em Campina Grande foram localizados no mapa de vulnerabilidade atenuada gerado neste estudo (Figura 12), a fim de cruzar as informações obtidas através da coleta de dados no estudo de Grande (2016) com as informações acerca da vulnerabilidade na área urbana de Campina Grande, como pode ser observado na Figura 14.

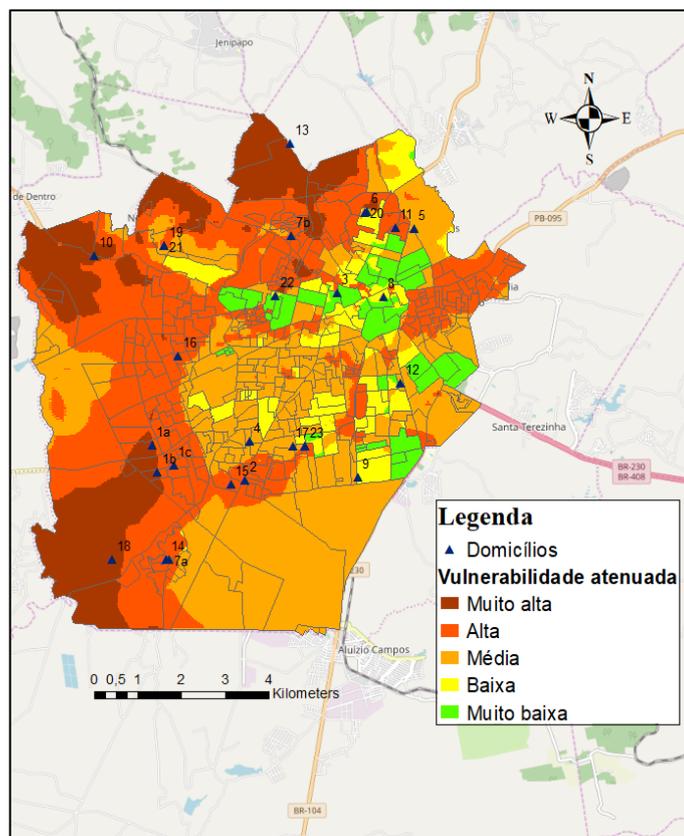


Figura 14 - Localização dos domicílios do estudo de Grande (2016) no Mapa de Vulnerabilidade atenuada

O estudo de Grande (2016) identificou que os *domicílios* 6, 5, 13 e 10 apresentaram os maiores períodos *sem água*. Dentre estes os *domicílios* 6, 13 e 10 estão localizados em áreas identificadas como de *Vulnerabilidade muito alta* como já era esperado devido ao *alto risco hidráulico* da região onde estão localizados, enquanto que o *domicílio* 5 está localizado em uma área identificada como de *Vulnerabilidade média*, podendo indicar uma situação não considerada no mapa de vulnerabilidade ao desabastecimento. A maior quantidade de horas *sem água* corresponde a domicílios localizados em regiões de *alto risco hidráulico* e identificados como de *Vulnerabilidade muito alta*, os demais domicílios totalizaram menos horas *sem água* e ficam localizados em áreas de *risco hidráulico médio* e *baixo*.

Os *domicílios* 8 e 3, que de acordo com o mapa de vulnerabilidade atenuada estão localizados em áreas de *Vulnerabilidade muito baixa*, possuem *renda alta* e *risco hidráulico médio*. Conforme relatos do usuário do *domicílio* 3 no trabalho de Grande (2016), esse domicílio apresenta uma boa capacidade de reserva e ainda apresenta condições para aumentar, fazendo com que sua vulnerabilidade seja atenuada devido a sua capacidade de adaptação frente ao desabastecimento de

água, passando a ter vulnerabilidade muito baixa. Com isso, percebe-se que os domicílios com renda alta tendem a ter maior capacidade de reservação.

Dessa forma, pode-se afirmar que o mapa de vulnerabilidade gerado nesse estudo coincide bastante com as observações em campo de Grande (2016) corroborando com a ideia de que o risco hidráulico interfere bastante na vulnerabilidade ao desabastecimento de água levando em consideração que as áreas identificadas com *alto risco hidráulico* geram elevados níveis de vulnerabilidade, caracterizando situações de desigualdade na distribuição de água para os domicílios. Além disso, através das observações de Grande (2016) e do mapa de vulnerabilidade atenuada, pode-se perceber que domicílios de *renda alta* têm maior capacidade de reservação, portanto têm sua vulnerabilidade reduzida.

5.3 Medidas de intervenção

Uma resposta política para as situações identificadas de vulnerabilidade ao desabastecimento de água seria a implementação de medidas de gestão de recursos hídricos que reduzam a exposição física em situações de intermitência no abastecimento de água. Para o caso de Campina Grande, o Plano Estratégico de Desenvolvimento “Campina Grande 2035” preconiza a atuação no problema do desabastecimento de água, apresentando em uma de suas metas até o ano de 2035, superar a vulnerabilidade hídrica em todos os sentidos, incluindo os casos de intermitência no abastecimento de água (PMCG, 2018).

Alguns dos indicadores não podem ser modificados, como a renda média mensal e a presença de aglomerados subnormais, portanto não é possível reduzir a sensibilidade dos setores ao desastre. Por outro lado, é possível propor medidas para redução da vulnerabilidade, intervindo no risco hidráulico. O mapa da Figura 15 localiza as áreas no município de Campina Grande propícias à intervenção no risco hidráulico, assim como os reservatórios de distribuição de água existentes na área urbana do município.

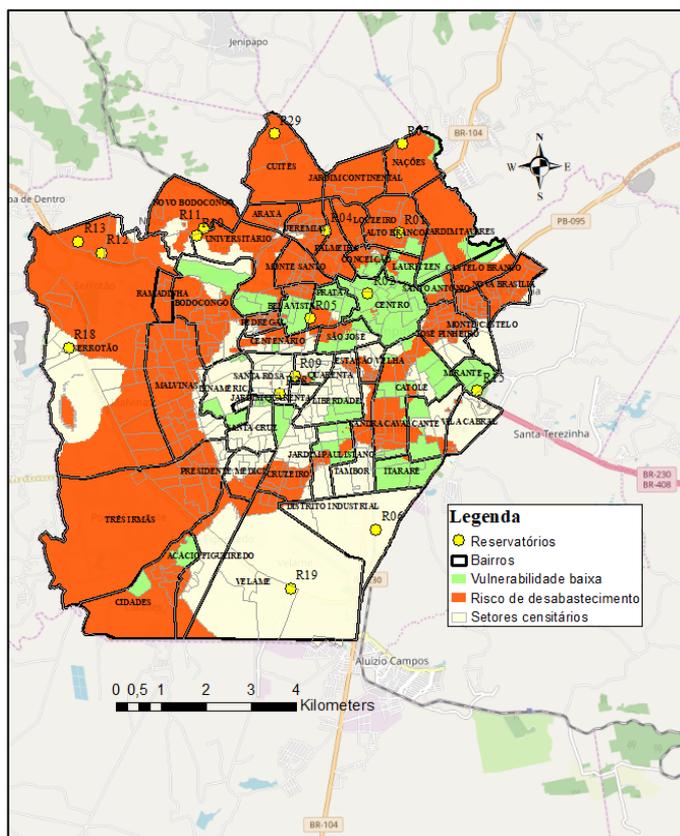


Figura 15 - Localização das possíveis intervenções no município de Campina Grande -PB
Fonte: Autoria própria

Foram identificados muitos setores censitários que tinham *vulnerabilidade muito alta, alta e média*, localizados em sua maioria em bairros como *Três Irmãs*, *Cuités* e *Monte Santo*, como citado anteriormente. Dessa forma, algumas medidas de gestão poderiam ser tomadas para reduzir a exposição física desses setores ao desastre, como por exemplo, a implantação de novas unidades de reservação mais próximas desses setores ampliando, assim, a rede de distribuição de água.

Com relação às áreas identificadas para intervenção no risco hidráulico, os reservatórios de abastecimento de água ficam localizados mais afastados dessas áreas ou os mais próximos já existentes têm sua capacidade diminuída ou estão localizados em pontos desfavoráveis com relação à topografia, o que justifica o alto risco hidráulico. Se fossem instalados novos reservatórios nessas localidades, o risco hidráulico reduziria para a região, da mesma maneira que diminuiria a vulnerabilidade desse local.

Dessa forma, pode-se afirmar que o modelo estabelecido para avaliação da vulnerabilidade ao desabastecimento de água é sensível à intervenção no risco

hidráulico como pode ser observado na Figura 15, em que muitas áreas teriam a vulnerabilidade reduzida caso fossem feitas intervenções no risco hidráulico.

Também foram gerados novos mapas de vulnerabilidade a partir das intervenções no risco hidráulico, considerando no primeiro caso a redução do risco hidráulico de alto e médio para baixo – Cenário 1 (Figura 16) e no segundo caso a redução de risco hidráulico de alto para médio – Cenário 2 (Figura 17).

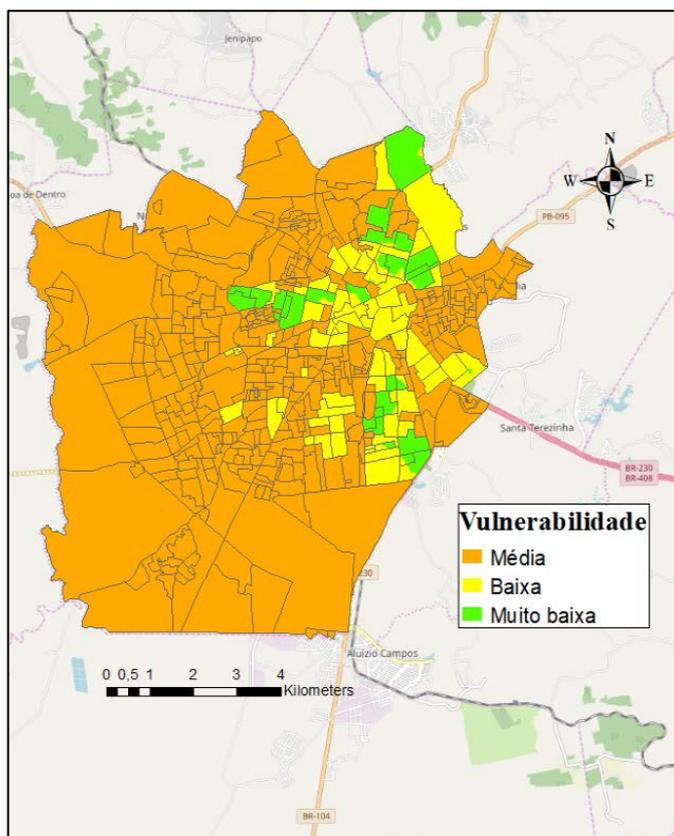


Figura 16 - Mapa de vulnerabilidade com a intervenção no risco hidráulico de alto ou médio para baixo – Cenário 1

Fonte: Autoria própria

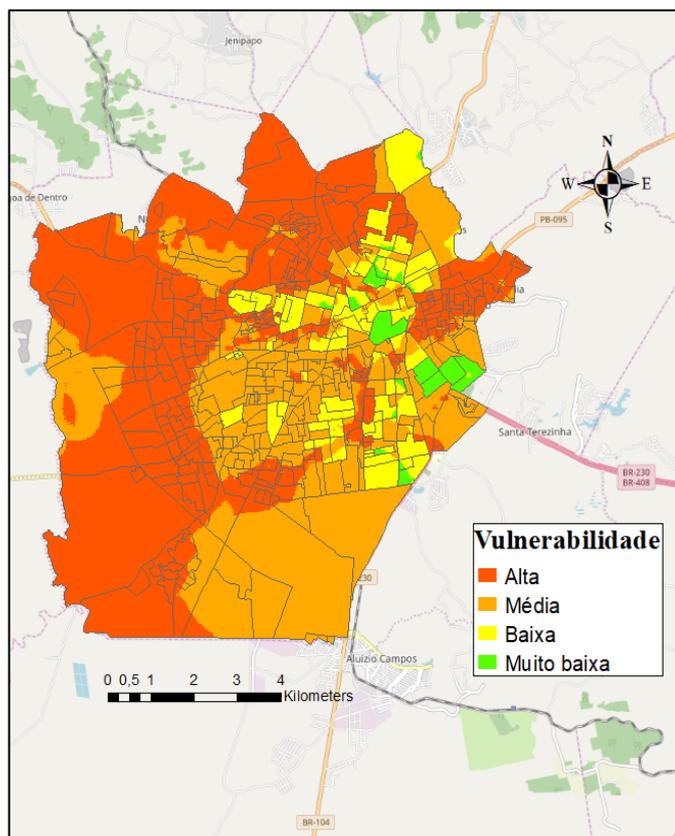


Figura 17 - Mapa de vulnerabilidade após a intervenção no risco hidráulico de alto para médio – Cenário 2
 Fonte: Autoria própria

É possível observar nos mapas de vulnerabilidade da Figura 16 e da Figura 17 que ao serem feitas intervenções no risco hidráulico através de medidas de intervenção como a implantação de novos reservatórios de água e a ampliação da rede de distribuição de água, a vulnerabilidade ao desabastecimento de água é diminuída consideravelmente. No cenário 1, mais otimista, em que seja possível reduzir o risco hidráulico de *alto* ou *médio* para *baixo*, a vulnerabilidade é afetada positivamente, passando a ser no máximo *média*. Mesmo se for possível uma redução do risco hidráulico apenas de *alto* para *médio*, como propõe o cenário 2, a vulnerabilidade ainda assim sofre interferência das intervenções, passando a ser no máximo *alta*, não chegando a ser *muito alta*.

Cordão; Rufino; Araújo (2013) fizeram simulações a fim de indicar as melhores zonas para localizar novas unidades de reservação com vistas à necessidade de ampliação da rede de distribuição de água e à otimização da localização dos novos equipamentos hidráulicos urbanos. As autoras indicaram algumas áreas ótimas para disposição espacial de novas unidades de reservação na área urbana de Campina

Grande, na tentativa de reduzir o risco de desabastecimento e, conseqüentemente a vulnerabilidade ao desabastecimento de água. Além disso, a localização ótima desses novos reservatórios gera benefícios econômicos, pois ao serem feitas intervenções em áreas com maior viabilidade técnica gera um investimento eficiente e com custo menor de manutenção.

Segundo dados de topografia e volume armazenado fornecidos pela Companhia de Águas e Esgotos da Paraíba (CAGEPA), o reservatório de distribuição R29, por exemplo, que fica localizado nas imediações do bairro de Cuités, não é suficiente para atender a demanda de toda região do bairro e seu entorno devido a sua baixa capacidade de reservação e também pela topografia bastante acidentada do local. Da mesma maneira, o reservatório R05, que fica localizado entre os bairros da Prata e da Bela Vista, tem uma capacidade para armazenar água inferior ao consumo de água dessa região, além do seu relevo irregular. Nesse caso, os critérios nessas localidades favorecem a instalação de novos reservatórios de distribuição, principalmente pelo fato de estarem localizadas em terrenos com topografias elevadas. Dessa maneira, a instalação de novos reservatórios nessas imediações também seria uma boa alternativa para reduzir o risco hidráulico, assim como a vulnerabilidade ao desabastecimento de água dessa região.

Portanto, para minimizar a vulnerabilidade ao desabastecimento de água em situações de intermitência no abastecimento faz-se necessário uma ampliação e otimização da operação dos sistemas de distribuição de água, reduzindo o risco hidráulico para áreas identificadas como mais vulneráveis ao desabastecimento de água, a partir de soluções de engenharia para equilibrar a oferta e a demanda do recurso e de programas de manutenção da rede afim de prevenir situações de colapso hídrico.

Enfim, é necessária uma melhor gestão do sistema de distribuição de água, a fim de levar em consideração os problemas socioeconômicos e não apenas os técnicos, aumentando a consciência ambiental pública bem como a compreensão científica da vulnerabilidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Não existe um método universalmente aceito para avaliar a vulnerabilidade no abastecimento de água, porém vem se consolidando o uso de técnicas multicriteriais aliadas aos Sistemas de Informação Geográfica, que tem sido constantemente empregado em estudos para o planejamento territorial e urbano através da identificação de áreas mais vulneráveis, constituindo uma ferramenta sólida de apoio à decisão que deve ser constantemente usada pelos gestores públicos para intervenções nessas áreas.

A identificação das áreas mais vulneráveis serve para nortear a atuação do poder público na gestão de recursos hídricos através de intervenções nessas áreas que precisam de certa urgência.

Em situações de intermitência no abastecimento de água, o conjunto de indicadores utilizado para avaliação da vulnerabilidade ao desabastecimento representou as dimensões da vulnerabilidade baseadas em informações de cunho físico e socioeconômico, que foram agregadas por meio de regras de decisão em SIG a fim de identificar situações de vulnerabilidade ao desabastecimento de água.

O indicador *risco hidráulico* delimitou a vulnerabilidade, levando em consideração que os domicílios localizados em zonas de alto risco hidráulico são considerados mais vulneráveis ao desabastecimento em situações de intermitência no abastecimento.

Os indicadores *renda média mensal* e a *presença de aglomerados subnormais* agregaram informações acerca das condições socioeconômicas da população que interferiram na vulnerabilidade ao desabastecimento através da identificação de áreas vulneráveis que têm risco hidráulico baixo, mas com precárias condições de ocupação urbana e com renda incapaz de angariar outras formas de abastecimento a fim de não sentir a falta de água enquanto o abastecimento normal não se reestabelece.

O indicador *capacidade de reservação* agregou informações acerca da capacidade da população de se adaptar frente às consequências do desabastecimento de água em situações de intermitência no abastecimento e, apesar de ser uma medida adotada por cada domicílio em particular e não mudar a causa do desabastecimento, pode reduzir a vulnerabilidade do próprio domicílio, pois a sua

reserva de água supre as necessidades enquanto o abastecimento não é normalizado.

Outros indicadores podem ser incluídos ou atualizados no modelo baseado em estudos futuros de acordo com a atualização dos dados, como a realização de um novo Censo Demográfico em 2020 e a criação de novas tecnologias para aquisição de dados.

Quanto à aquisição de dados, a principal dificuldade nesta pesquisa foi a desatualização dos dados fornecidos pelo censo do IBGE que acontece a cada 10 anos. Dessa forma, os dados utilizados neste estudo foram obtidos no último Censo Demográfico no ano de 2010. Além disso, a escassez de dados referentes à capacidade de reservação dos domicílios foi um impasse no desenvolvimento da pesquisa, pois retardou a fase de aquisição de dados. Seria bastante relevante se no Censo Demográfico de 2020 fosse agregado esse questionamento acerca da capacidade de reservação de cada domicílio.

A introdução do método de análise visual de imagens aéreas para identificação de reservatórios, embora tenha ainda um certo grau de incerteza, pode ser considerado como um avanço na aquisição de dados dessa natureza que não são facilmente encontrados nas diversas fontes de dados existentes, o que foi uma das dificuldades encontradas na realização desta pesquisa. Para uma futura replicação deste estudo para outras áreas faz-se necessário uma automação do processo de identificação visual a partir de imagens aéreas da área em estudo. Estudos posteriores poderiam atuar nessa perspectiva, reduzindo o grau de incerteza através da automação dessa aquisição com programas computacionais capazes de realizar a identificação com maior precisão e rapidez para que esta metodologia possa ser replicada para outras áreas de estudo, inclusive maiores que Campina Grande.

Por fim, embora uns sejam mais vulneráveis que outros, vale ressaltar que toda a área urbana de Campina Grande é, por si só, vulnerável ao desabastecimento de água devido às severas crises hídricas que tem enfrentado nos últimos anos. Em situações sem racionamento, como delimitou este estudo, Campina Grande ainda padece com a intermitência no abastecimento de água, dessa maneira, muitos fatores intervêm na vulnerabilidade no abastecimento de água e devem ser considerados em sua avaliação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADGER, W. N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, v. 16, n. 3, p. 268–281, 2006.

AGATHOKLEOUS, A.; CHRISTODOULOU, S. Vulnerability of Urban Water Distribution Networks under Intermittent Water Supply Operations. **Water Resources Management**, v. 30, n. 13, p. 4731–4750, 2016.

ALMEIDA, L. Q. **Riscos Ambientais e Vulnerabilidade nas Cidades Brasileiras: Conceitos, Metodologias e Aplicações**. São Paulo-SP: Cultura Acadêmica, 2012.

ALVES, H. P. DA F. População e Desmatamento no Vale do Ribeira: integração de dados censitários com dados de sensoriamento remoto dentro da estrutura de um sistema de informação geográfica (GIS). **Focus**, n. Xiii, p. 1–25, 2000.

BEUHLER, M. Potential impacts of global warming on water resources in southern California. **Water science and technology: a journal of the International Association on Water Pollution Research**, v. 47, n. 7–8, p. 165–8, 2003.

BORUFF, B. et al. Changing water system vulnerability in Western Australia's Wheatbelt region. **Applied Geography**, v. 91, n. June 2017, p. 131–143, 2018.

CARDONA, O. D. The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective. **Mapping vulnerability: Disasters, development and people**, n. January 2004, p. 37–51, 2003.

CORDÃO, M. J. S.; RUFINO, I. A. A.; ARAÚJO, E. L. Geotecnologias aplicadas ao planejamento de sistemas de abastecimento de água urbanos: uma proposta metodológica. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 263–274, 2013.

CUTTER, S. L. Vulnerability to hazards. **Progress in Human Geography**, v. 20, n. 4, p. 529–539, 1996.

CUTTER, S. L.; BORUFF, B. J.; SHIRLEY, W. L. Social vulnerability to environmental hazards. **Social Science Quarterly**, v. 84, n. 2, p. 242–261, 2003.

DESOUZA, K. C.; FLANERY, T. H. Designing, planning, and managing resilient cities: A conceptual framework. **Cities**, v. 35, p. 89–99, 2013.

FUCHS, S.; BIRKMANN, J.; GLADE, T. Vulnerability assessment in natural hazard and risk analysis: Current approaches and future challenges. **Natural Hazards**, v. 64, n. 3, p. 1969–1975, 2012.

GRANDE, M. et al. Environmental equity as a criterion for water management.

Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences, v. 364, n. June, p. 519–525, 2014.

GRANDE, M. et al. A percepção dos usuários sobre os impactos do racionamento de água em suas rotinas domiciliares. **Ambiente & Sociedade**, v. XIX, p. 165–184, 2016.

GRANDE, M. H. **DISTRIBUIÇÃO E ACESSO À ÁGUA EM CAMPINA GRANDE: Uma análise a partir da Ecologia Política**. [s.l.] Universidade Federal de Campina, 2016.

IBGE | Censo 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 16 out. 2018.

ILAYA-AYZA, A. E. et al. Multi-criteria optimization of supply schedules in intermittent water supply systems. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 309, p. 695–703, 2017.

JUHOLA, S.; KRUSE, S. A framework for analysing regional adaptive capacity assessments: challenges for methodology and policy making. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 20, n. 1, p. 99–120, 2015.

KRELLENBERG, K. et al. Urban vulnerability and the contribution of socio-environmental fragmentation: Theoretical and methodological pathways. **Progress in Human Geography**, v. 41, n. 4, p. 408–431, 2017.

MALTA, F. S.; COSTA, E. M. DA; MAGRINI, A. Índice de vulnerabilidade socioambiental: uma proposta metodológica utilizando o caso do Rio de Janeiro, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 22, n. 12, p. 3933–3944, 2017.

MARANDOLA JR., E.; HOGAN, D. J. As Dimensões Da Vulnerabilidade. **São Paulo em Perspectiva**, v. 20, n. 1, p. 33–43, 2006.

MENDONÇA, F. A.; LEITÃO, S. A. M. Riscos e vulnerabilidade socioambiental urbana: uma perspectiva a partir dos recursos hídricos. **Geotextos**, v. 4, n. 1 e 2, p. 145–163, 2008.

MOSER, C. O. N. (a) Maklumat Pemohon (C) Maklumat Prestasi Pengajian. **World Development**, v. 26, n. 1, p. 4, 1998.

MUKESH, S. B.; KOMAL, C.; ALEXANDER, K. Land Use/Cover and Vulnerability Mapping Through Remote Sensing and GIS In Astrakhan, Russia. **Journal of Earth Science & Climatic Change**, v. 08, n. 01, 2017.

PMCG. Prefeitura Municipal de Campina Grande-PB. Secretarias. Disponível em: <http://campinagrandepb.com.br/administracao/secretarias/>. Acesso em: 25 fev. 2019.

RUNFOLA, D. M. et al. A multi-criteria geographic information systems approach for

the measurement of vulnerability to climate change. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 22, n. 3, p. 349–368, 2017.

SIMUKONDA, K.; FARMANI, R.; BUTLER, D. Intermittent water supply systems: causal factors, problems and solution options. **Urban Water Journal**, v. 15, n. 5, p. 488–500, 2018.

TURNER, B. L. et al. A framework for vulnerability analysis in sustainability science. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 100, n. 14, p. 8074–9, 2003.

TZILIVAKIS, J. et al. Adapting to climate change: assessing the vulnerability of ecosystem services in Europe in the context of rural development. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 20, n. 2015, p. 547–572, 2013.

XIA, J. et al. Vulnerability of and risk to water resources in arid and semi-arid regions of West China under a scenario of climate change. **Climatic Change**, v. 144, n. 3, p. 549–563, 2017.

YUAN, X. C. et al. China's regional vulnerability to drought and its mitigation strategies under climate change: data envelopment analysis and analytic hierarchy process integrated approach. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 20, n. 3, p. 341–359, 2013.

ZHOURI, A. JUSTIÇA AMBIENTAL, DIVERSIDADE CULTURAL E ACCOUNTABILITY Desafios para a governança ambiental *. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 23, n. 68, p. 97–107, 2008.