

# Riscos nas condições de abastecimento de água em escala urbana: uma abordagem baseada em SIG-MCDA

*Risks in urban scale water supply conditions: a SIG-MCDA - based approach*

• **Data de entrada:**  
09/04/2019

• **Data de aprovação:**  
26/05/2020

Rivaildo da Silva Ramos Filho<sup>1\*</sup> | Brenda Gomes de Sousa<sup>1</sup> | Maria José de Sousa Cordão<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2021.068>

## ORCID ID

Ramos Filho RS  <https://orcid.org/0000-0001-5939-2780>

Sousa BG  <https://orcid.org/0000-0002-1026-0813>

Cordão MJS  <https://orcid.org/0000-0001-7888-5484>

## Resumo

O estudo apresenta uma abordagem espacial sobre riscos nas condições de abastecimento de água baseada em Análise Multicriterial e Sistemas de Informação Geográfica (SIG-MCDA). Foram contemplados na abordagem critérios hidráulicos e critérios indicadores de demanda de água. Os critérios foram ponderados por meio do conhecimento de especialistas. Utilizaram-se os SIG para visualização, inferências e análise de dados espaciais, bem como para processamento das etapas de decisão. Os resultados mostram, para o Sistema Urbano de Distribuição de Água (SUDA) analisado, uma área considerável na faixa de alto risco em razão de estas apresentarem, principalmente, critérios hidráulicos desfavoráveis. Ao final do estudo, foram levantadas ações que podem auxiliar na adaptabilidade e resiliência, permitindo aprimorar as discussões sobre os riscos nas condições de abastecimento de água nas cidades.

**Palavras-chave:** Sistemas Urbanos de Distribuição de Água. Análise Multicriterial. Sistemas de Informação Geográfica. Riscos de escassez de água.

## Abstract

*The study presents a spatial approach to risks in water supply conditions based on Multicriterial Analysis and Geographic Information Systems (GIS-MCDA). Hydraulic criteria and water demand indicator criteria were included in the approach. The criteria were weighted through the knowledge of experts. GIS was used for visualization, inferences and analysis of spatial data, as well as for processing the decision steps. The results show that the Urban Water Distribution Systems (SUDA) presented risk areas mainly in the areas with the highest elevation level, far from the reservoirs and the main network. At the end of the study, actions were taken that can assist in adaptability and resilience, allowing to improve discussions about risks in water supply conditions in cities.*

**Keywords:** Urban Water Supply Systems. Multicriterial Analysis. Geographic Information Systems. Water shortage risk.

<sup>1</sup> Universidade Estadual da Paraíba- Araruna - Paraíba - Brasil.

\* **Autor correspondente:** rivaildofilho31@gmail.com.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos Sistemas Urbanos de Distribuição de Água (SUDA), a água deve ser disponibilizada de modo suficiente e seguro para satisfazer as necessidades básicas de cada usuário, apoiados por uma infraestrutura de atendimento de forma equitativa e eficiente. O crescimento acelerado e incerto das demandas, os custos associados aos serviços de distribuição de água, os problemas em infraestruturas, longos períodos de seca, densificação populacional urbana, entre outras variáveis, têm sido motivações para o desenvolvimento de estudos na área que abrange susceptibilidades nos SUDA.

Embora a disponibilidade de água para as cidades seja principalmente um produto do clima, a demanda é determinada pelo tamanho da população e por setores da sociedade que competem pela água (FALKENMARK; XIA, 2013). Acrescentam-se as questões de ordem de governança dos SUDA e de crescimento urbano, as quais implicam em injustiças ambientais que geram escassez de água em áreas específicas das cidades, em condições hidroclimáticas favoráveis. Em geral, as áreas periféricas da cidade são mais suscetíveis a susceptibilidades nos serviços ambientais urbanos.

A abordagem baseada em risco tem sido cada vez mais motivada pela incerteza dos impactos das mudanças climáticas (HALL et al., 2012; SHORTRIDGE; CAMP, 2018). Hall et al. (2019) afirmam que os resultados prejudiciais no gerenciamento dos recursos hídricos decorrem de fatores ambientais e das ações humanas que envolvem aspectos técnicos e de gestão. A fração técnica pode estar associada a fatores hidráulicos, como falhas de projetos. Por outro lado, a gestão está relacionada às más decisões no âmbito do planejamento.

A expansão urbana desordenada é um fator característico de planejamento que compete para o aumento de susceptibilidades nos SUDA (GRANDE et al., 2014), especialmente nas perife-

rias, onde o crescimento urbano não está alinhado com o crescimento da infraestrutura de água.

Considerando a exigência de aprimorar o planejamento dos SUDA, para mitigar susceptibilidades, especialmente quando se trata do adequado atendimento à população, na redução de custos, na otimização de recursos e na redução de racionamentos, torna-se útil o uso de metodologias que possam funcionar como ferramentas de apoio à tomada de decisão em projetos de expansão e de modificação, bem como na operação do SUDA. A análise e a identificação de riscos e vulnerabilidades nos SUDA pode se apropriar do uso da abordagem SIG-MCDA. Essa abordagem possibilita solucionar diferentes tipos de problemas que envolvem dados espaciais, os quais possuem, dentre outros, recursos de gerenciamento e visualização das informações e análises e inferências espaciais (MALCZEWSKI; RINNER, 2015).

A abordagem SIG-MCDA consiste em definir um grupo de critérios envolvidos em uma problemática para subsequentemente realizar uma ponderação de acordo com a influência que cada critério exerce. Posteriormente, os critérios são combinados de acordo com a regra de decisão determinada (MALCZEWSKI; RINNER, 2015).

Enquanto o SIG serve como entrada de processamento, com um grupo de dados e algoritmos capazes de representar a multiplicidade de concepções do espaço (CÂMARA; DAVIS; MONTEIRO, 2001), a abordagem MCDA permite incorporar muitas variáveis, quantitativas ou qualitativas a essas concepções, isto é, aos diferentes cenários que irão levar a uma solução otimizada (CASTRO et al., 2015).

Nesse contexto, a cidade de Campina Grande - PB é a área de estudo. A cidade está situada na região semiárida e sofreu nas últimas décadas com secas recorrentes. A última seca ocorreu entre os anos de 2012 e 2017 e está registrada como a maior da história da cidade. Fatores de

ordem técnica e de gestão também fazem parte do contexto dos SUDA de Campina Grande, tais como: planos de expansão urbana e crescimento do SUDA incompatíveis, gerando desequilíbrios hidráulicos; índices de perdas significativos.

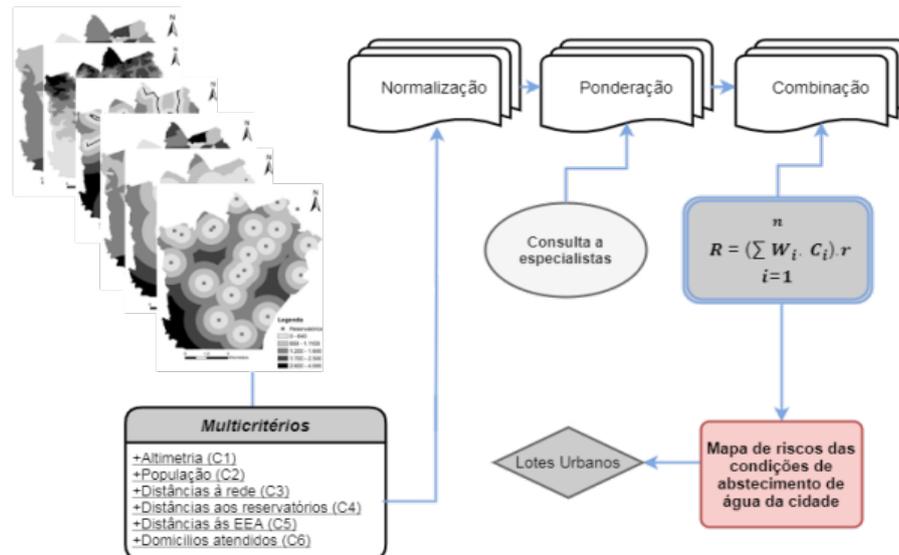
Desta forma, os critérios envolvidos neste estudo foram explorados, dentro dos limites de disponibilidade de dados, para representar o contexto vivenciado pela referida cidade nos seus serviços de abastecimento de água. Foram contemplados na abordagem critérios hidráulicos e critérios indicadores de demanda de água.

## 2 OBJETIVO

Explorar possibilidades para identificar os riscos que as cidades enfrentam nas condições de abastecimento de água por meio de uma abordagem SIG-MCDA utilizando múltiplos critérios para uma estratégia inicial em busca da sustentabilidade dos serviços urbanos de abastecimento de água.

## 3 METODOLOGIA

Os principais passos metodológicos do estudo estão apresentados na Fig. 1.



**Figura 1** - Etapas metodológicas para o mapeamento do risco nas condições de abastecimento de água em escala urbana

Inicialmente os critérios foram espacializados dentro do ambiente SIG. A etapa de normalização tem a função de tornar padrão as unidades e/ou escalas dos critérios trabalhados (C1 - Altimetria, C2 -População, C3 - Distâncias à rede principal, C4 - Distâncias aos reservatórios de distribuição, C5 – Distâncias às Estações Elevatórias de Água Tratada e C6 – Domicílios atendidos pela rede).

Na etapa de ponderação, os critérios normalizados recebem pesos por meio de conhecimento espe-

cializado. Especialistas foram consultados sobre os pesos arbitrados de forma intuitiva. Esses pesos expressam o grau de influência sobre o risco.

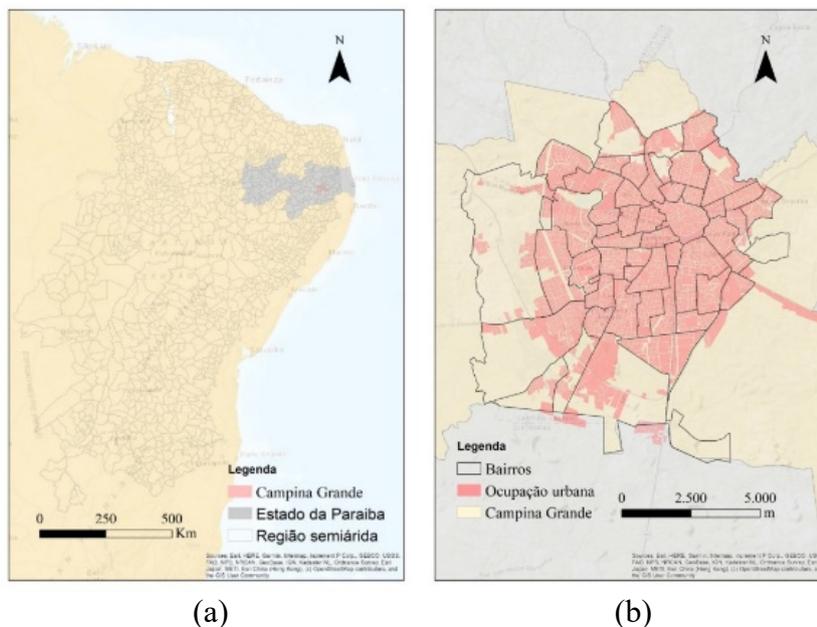
Na última etapa, a combinação dos critérios, utilizou-se a soma ponderada. A análise utilizou uma variável restritiva, os lotes urbanos.

Ao final da implementação dessa metodologia foram levantadas algumas ações de cunho de gestão visando à adaptabilidade e à resiliência dos SUDA.

### 3.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a área urbana do município de Campina Grande (PB), situada na região semiárida, especificamente no agreste paraibano oriental do Planalto da Borborema (Fig. 2). A cidade constitui papel econômico e

educacional importante no estado da Paraíba. A população estimada para o ano de 2019 é de 409.731 habitantes. (IBGE, 2020). Secas recorrentes e riscos nas condições de abastecimento de água por questões técnicas e de gestão são motivações (GRANDE et al., 2014).



**Figura 2** - (a) Localização da cidade de Campina Grande-PB e (b) Área urbana da cidade de Campina Grande.

### 3.2 Aquisição de dados

Os dados utilizados para a análise foram obtidos junto à Prefeitura Municipal de Campina Grande, Companhia de Água e Esgotos da Paraíba (CAGE-PA) e informações censitárias do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

### 3.3 Avaliação de critérios e modelagem

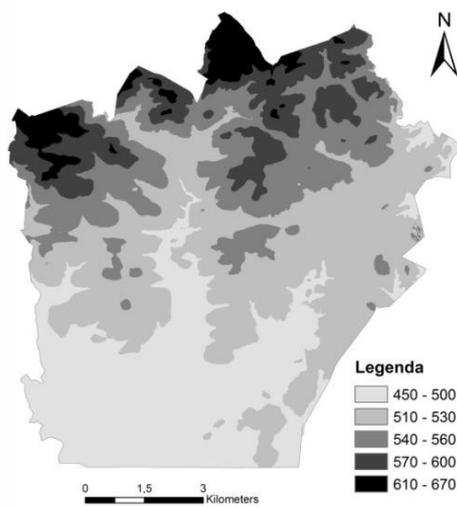
Após a etapa de aquisição de dados foi possível espacializá-los utilizando os SIG. Foram utilizados critérios associados à hipótese formulada: identificação de áreas de riscos nas condições de abastecimento de água. Cada critério possui uma parcela de contribuição no modelo para obtenção do mapeamento. A análise multicritério se caracteriza

por uma combinação ponderada entre os critérios normalizados: Altimetria, População, Domicílios atendidos pela rede, Distâncias à rede principal, Distâncias às estações elevatórias de água tratada e Distâncias aos reservatórios de distribuição.

#### 3.3.1 Altimetria

A altimetria de uma região é ponto relevante para a escolha da melhor forma de implantação de um SUDA. Cordão et al., (2013) consideram a altimetria como uma das variáveis de maior influência na análise de riscos de um SUDA, sendo, dessa forma, uma variável imprescindível na tomada de decisão quando se trata da avaliação de riscos nas condições de abastecimento.

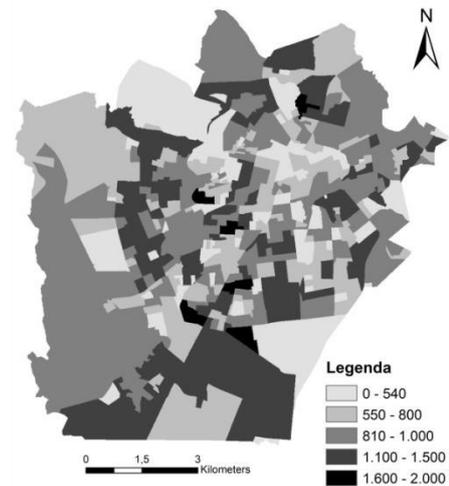
Locais de maior cota altimétrica apresentam maiores dificuldades para o abastecimento de água, por isso quanto maior a cota de determinado lugar, maior o risco. Sendo assim, esse critério atua de forma diretamente proporcional ao risco. Ressalta-se que a cidade de Campina Grande se destaca por apresentar uma topografia heterogênea com grande variabilidade ao longo de sua área, como pode ser visto na Fig. 3.



**Figura 3** - Modelo Numérico do Terreno da Cidade de Campina Grande-PB  
Fonte: TSUYUGUCHI (2015).

### 3.3.2 População

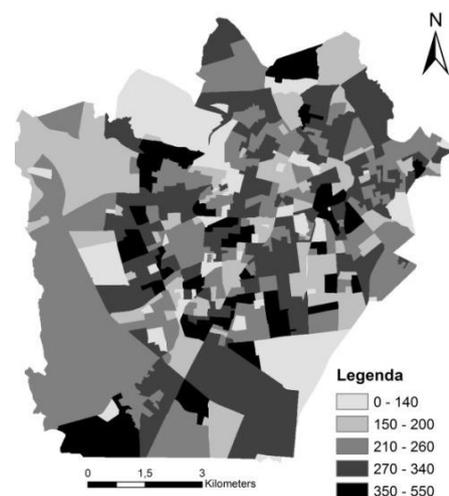
A população de uma região é um dos fatores a serem considerados para a elaboração do plano de abastecimento de água de uma cidade. Esse critério se relaciona a outros parâmetros envolvidos no SUDA, isto é, vazão, pressão, demanda e determinação da capacidade de reservatórios de distribuição. Em sua análise, quanto mais pessoas concentradas em um determinado local, maior a demanda e maiores os riscos no abastecimento de água. Dessa forma, o critério varia de forma diretamente proporcional ao risco. O mapa que apresenta esse critério espacializado é observado na Fig. 4.



**Figura 4** - População  
Fonte: IBGE (2010a).

### 3.3.3 Domicílios atendidos pela rede

As informações sobre os domicílios atendidos pela rede de abastecimento, como mostra a Fig. 5, são outro critério a ser analisado para o levantamento do risco nas condições de abastecimento de água nas áreas urbanas. Os dados de domicílios atendidos podem indicar quais locais sofrem com a ausência de rede de distribuição. Neste sentido, observa-se que quanto maior a quantidade de domicílios sem abastecimento de água, maior o risco. Sendo assim, o critério atua de forma diretamente proporcional ao risco.



**Figura 5** - Domicílios atendidos pela rede  
Fonte: IBGE (2010b).

### 3.3.4 Distância à rede

Quanto maior a distância entre a rede e os usuários, maior é o risco de falta de água, pois fatores como ocorrência de vazamentos e baixas pressões na rede se tornam mais recorrentes devido à grande extensão do SUDA. Esse é um fator associado à questão de gestão, pois a infraestrutura de água, de maneira geral, não acompanha o crescimento urbano de forma planejada. Em geral se formam extensões de rede notadamente com pressões inadequadas. Desta maneira, esse critério atua de forma diretamente proporcional ao risco. A Fig. 6 mostra o traçado da rede por meio dos condutos principais (Diâmetros  $\geq 400\text{mm}$ ), bem como as distâncias geradas a partir destas.

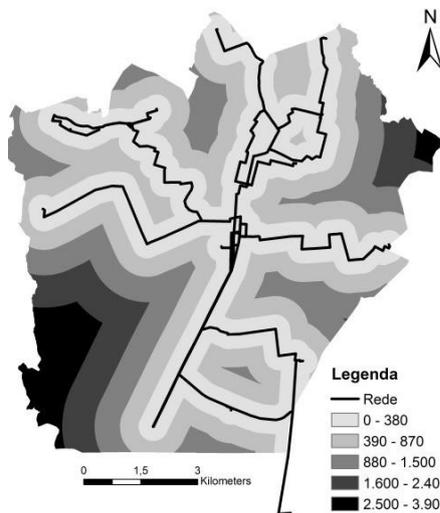


Figura 6 - Mapa de distância à rede

### 3.3.5 Distâncias às Estações Elevatórias de Água Tratada (EEAT)

A proximidade de usuários das EEAT pode aumentar o risco da falta de água, pois as redes de abastecimento que atendem esses usuários estão sujeitas a grandes pressões e, por conseguinte, maiores riscos de rompimento. Sendo assim, esse critério atua de forma inversamente proporcional ao risco, já que quanto mais distante os usuários das unidades, menor o risco (Fig. 7).

### 3.3.6 Distâncias aos reservatórios de distribuição

As unidades de reservação possuem uma área de influência sobre uma determinada zona urbana de abastecimento. Dentre diversos fatores que estabelecem os limites dessa zona, podemos destacar a distância. Quanto maior a distância do usuário à unidade de reservação, mais difícil se torna o abastecimento devido à perda de energia. Dessa maneira, esse critério atua de forma diretamente proporcional ao risco. A Fig. 8 mostra a distância dos usuários aos reservatórios de distribuição de água.

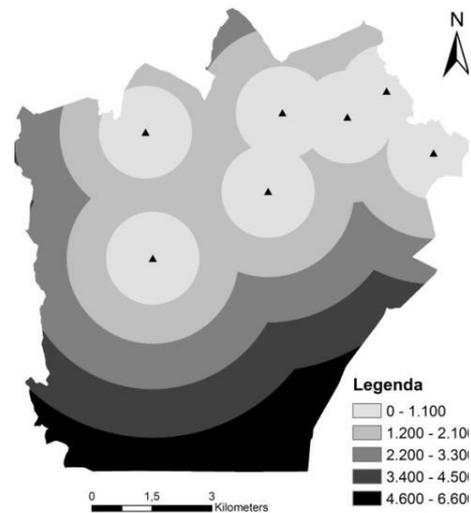


Figura 7 - Distância dos usuários às EEAT.

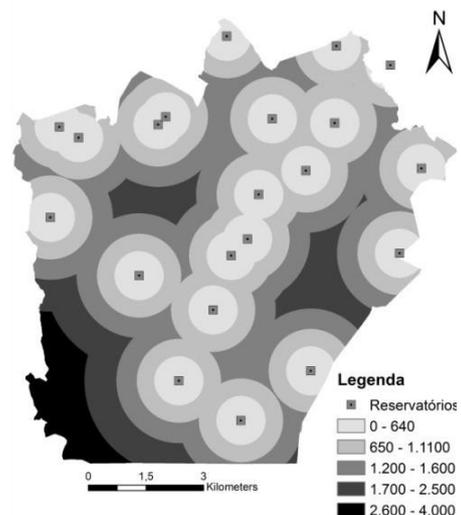


Figura 8 - Distância dos usuários aos reservatórios de água.

### 3.4 Equação da problemática

Para a equação que estabelece os riscos associados às condições de abastecimento de água na cidade de Campina Grande foram atribuídos pesos característicos a cada critério, bem como a restrição do modelo (Eq. 1). Considerou-se como restrição do modelo a presença de lotes urbanos.

$$R = \left( \sum_{i=1}^n W_i \cdot C_i \right) \cdot r \quad (1)$$

Onde:

R: Risco nas condições de abastecimento de água

$W_i$ : Peso característico

$C_i$ : Critérios

r: Restrição

### 3.5 Normalização dos critérios

Os critérios utilizados em uma análise SIG-MCDA podem estar em diferentes escalas e/ou unidades. Dessa forma, antes da combinação destes é necessário converter todos os critérios envolvidos para uma mesma unidade de medida. Essa conversão é conhecida como normalização ou adequação. Optou-se pela utilização de conjuntos difusos por meio de funções lineares que possibilitaram a cada célula pertencer a uma função de pertinência estabelecida, onde essa caracterização decorria de uma situação de não pertinência para uma de total pertinência variando de 0 a 1 de forma gradual (ZADEH, 1965).

#### 3.6 3.6 Ponderação dos critérios

A atribuição de pesos para os critérios foi feita por especialistas (Tabela 1). Eles condicionaram o peso de cada critério com suas próprias experi-

ências e expectativas em relação ao risco produzido por cada um dos critérios.

**Tabela 1** - Pesos atribuídos aos critérios por meio de conhecimento especializado.

Critérios	Pesos
C1 – Altimetria	0,3
C2 – População	0,2
C3 – Domicílios atendidos pela rede	0,3
C4 – Distâncias à rede principal	0,15
C5 – Distâncias às EEAT	0,15
C6 – Distância aos reservatórios de distribuição	0,3

O risco nas condições de abastecimento é obtido mediante a soma ponderada dos critérios que resultam em uma unidade, ou seja, somados se igualam a uma porcentagem igual a cem (Eq. 2).

#### • Simulação:

$$R = [(0.3 C_1) + (0.2 C_2) + 0.3(C_3 + C_6) + 0.15(C_4 + C_5)] \cdot L \quad (2)$$

Onde:

R: Risco nas condições de abastecimento de água;

$C_1$ : Altimetria;

$C_2$ : População;

$C_3$ : Domicílios atendidos pela rede;

$C_4$ : Distâncias à rede principal;

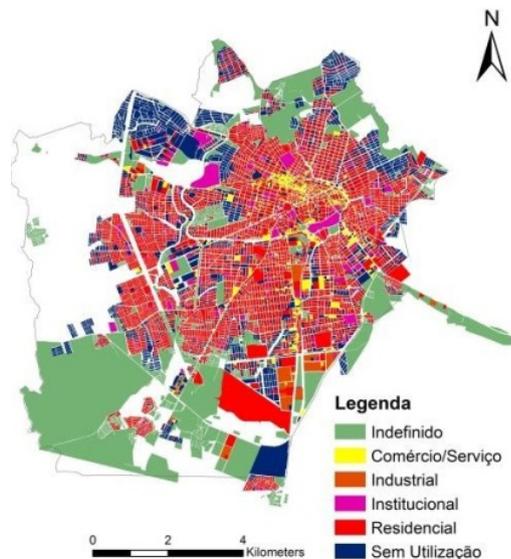
$C_5$ : Distâncias às EEAT;

$C_6$ : Distâncias aos reservatórios de distribuição;

L: Lotes.

### 3.7 Restrição

Os lotes urbanos (Fig. 9) foram utilizados como restrição do modelo, portanto, trata-se de uma variável binária, ou seja, o risco nas condições de abastecimento de água foi analisado, ao final, nas áreas onde há presença de lotes urbanos.



**Figura 9** - Uso do Solo da cidade de Campina Grande  
Fonte: SEPLAN (2010).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

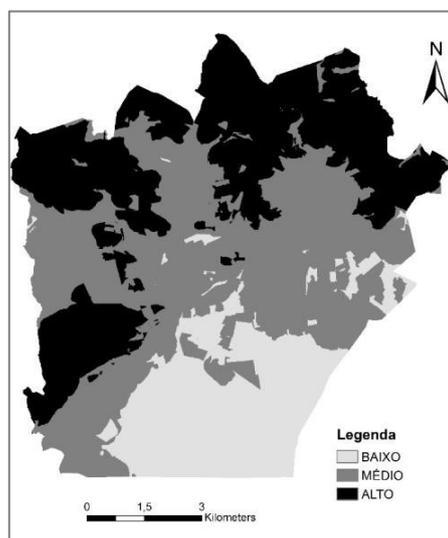
### 4.1 Simulação das áreas susceptíveis ao desabastecimento

A partir dos mapas das Fig. 10 e 11, verifica-se a diferenciação das zonas quanto à ocorrência de riscos nas condições de abastecimento de água na área de estudo. Eles foram classificados por meio de faixas de suscetibilidade, a saber: baixo, médio e alto.

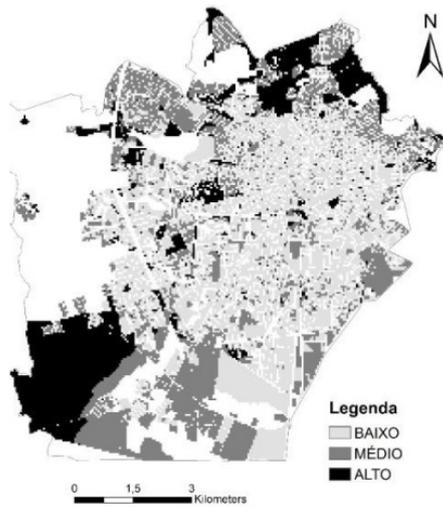
Para o reconhecimento das áreas mais suscetíveis analisaram-se duas hipóteses: na primeira não foram utilizados lotes como restrição (Fig. 10) e na segunda foram utilizados todos os lotes urbanos como delimitação para o estudo (Fig. 11). O caso da Fig. 10 se caracteriza por uma análise bem mais generalizada sobre os notáveis riscos; em contrapartida, no caso da Fig. 11, têm-se uma área de estudo bem mais específica e dotada da limitação dos lotes urbanos. Sendo assim, a segunda análise pode ser entendida como ideal para a tomada de decisões, já que o foco principal do sistema de abastecimento são os consumidores. No entanto, a partir da utiliza-

ção da análise generalizada pode-se identificar áreas ainda por ocupar que estarão propensas a suscetibilidades.

É possível observar na Fig. 11 que a área mais escura (alto risco) a sudoeste de Campina Grande foi fortemente influenciada pelas distâncias horizontais geradas a partir dos componentes do sistema de abastecimento, a saber: reservatórios, redes e estações elevatórias de água tratada. Outro ponto que é importante analisar é a área a nordeste da região de estudo, caracterizada por ser de alto risco, pois recebe grande influência da altimetria. Pelo fato de representar a parte mais alta da cidade de Campina Grande, consequentemente torna-se mais provável o acontecimento de suscetibilidades devido às baixas pressões na rede e a necessidade de alocação de EEAT. Na região central da cidade verificam-se tons mais claros (baixo e médio risco), característicos da proximidade dos consumidores com a rede de distribuição, e isso pode ser compreendido pelo fato de cidades mais compactas apresentarem menores riscos nas condições de abastecimento de água (SIEBERT, 2012).



**Figura 10** - Mapa de riscos nas condições de abastecimento de água na cidade de Campina Grande.



**Figura 11** - Mapa de risco nas condições de abastecimento de água na cidade de Campina Grande utilizando como restrição os lotes urbanos.

#### 4.2 Proposição de ações de adaptabilidade e resiliência

A partir da análise de estudos sobre suscetibilidade nos SUDA, outros conceitos, como adaptabilidade e resiliência a esses riscos, devem ser acrescentados.

É coerente afirmar que os riscos afetam o processo de distribuição de água não apenas por meio de alterações climáticas, mas por meio de outros processos significativos, tais como a urbanização. Essa tendência de desequilíbrio envolvendo riscos nas condições de abastecimento de água gera incertezas sobre o planejamento e altera os padrões a longo prazo de escassez hídrica nas cidades. Diante das mudanças enfrentadas, os SUDA precisam se adaptar a tais acontecimentos, sendo necessária a busca de alterações na infraestrutura, na gestão da de-

manda e na governança sustentável a fim de promover equidade nos serviços ambientais.

O termo resiliência é definido como a capacidade de um sistema de se adiantar e se adequar às mudanças que lhe são impostas, sobressaindo-se com garantia de segurança e domínio; diante das tensões por eficiência, sejam crises e riscos, conseguem, com sua competência e seu plano de prevenção e proteção retornar ao estado de origem (ULTRAMARI; HUMMELL, 2018).

A segurança do abastecimento urbano de água numa cidade é comumente avaliada por meio da disponibilidade per capita de água. No entanto, esse serviço real é influenciado por outras variáveis, tais como o acesso à água, a infraestrutura necessária para tratamento, o armazenamento e a distribuição, o capital financeiro para mobilizações das infraestruturas e a eficiência no gerenciamento desse sistema (KRUERGER, RAO, BORCHARDT, 2019).

A proposta apresentada por Lloyd, Wong e Chesterfield (2002), que traz a expressão “security, resilience, and sustainability” por meio do conceito de um projeto urbano sensível à água, engloba uma série de medidas que também visam minimizar os impactos hidrológicos sobre o desenvolvimento urbano. Um subconjunto desse projeto é colher água pluvial para suplementar o abastecimento da rede para usos não potáveis.

A seguir, são elencadas propostas de adaptabilidade e resiliência a riscos nas condições de abastecimento de água para as cidades (Quadro 1). Essa lista é um primeiro passo para um levantamento de propostas mais robustas em estudos futuros.

**Quadro 1** - Propostas de resiliência e adaptabilidade.

Estratégias para resiliência e adaptabilidade	Considerações	Bibliografia especializada
Fornecimento de água por meios alternativos	Quando houver falha no sistema público de abastecimento de água, outras alternativas individuais de fornecimento de água podem ser utilizadas, como poços e cisternas.	Davis (2014).
Aumento da capacidade de reserva dos consumidores	Os reservatórios domiciliares anulariam o efeito da intermitência no abastecimento de água, principalmente para usuários de baixa renda. A classe de renda mais alta acaba sofrendo menos com a escassez de água, pela maior possibilidade de armazenamento.	Grande et al., (2016).
Reúso de água residuária para uso que exigem baixa potabilidade	Combinar o sistema de abastecimento centralizado com um sistema de abastecimento descentralizado. A reutilização de água residuária e sistemas híbridos são possíveis ações a serem avaliadas.	Sapkota et al., (2015).
Reúso de águas pluviais	Captação e tratamento de água pluvial visando atender aos usos não potáveis de água, ou usos que necessitam de baixa potabilidade.	Luthy, Sharvelle e Dillon (2019).

## 5 CONCLUSÃO

Diante da abordagem do processo de planejamento dos SUDA, em meio à expansão populacional e rápida urbanização das cidades, é inevitável a necessidade de acompanhamento desses sistemas para minimização dos riscos nas condições de abastecimento de água, mesmo em condições hidro climáticas favoráveis.

A metodologia apresentada utiliza uma abordagem SIG-MCDA, proporcionando uma organização espacial dos dados, visualização e ponderação dos critérios. Os pesos atribuídos pelos especialistas expressam o grau de influência quanto ao risco nas condições de abastecimento de água e permitem analisar o problema com base em modelos baseado em conhecimento.

Os resultados identificaram áreas na faixa de alto risco onde os critérios hidráulicos são mais desfavoráveis e, portanto, os fatores de altimetria, distâncias à rede principal e distâncias aos reservatórios são os que mais contribuem. O critério de demanda, notadamente a população, contribuiu com uma parcela importante para o risco. Embora os domicílios atendidos pela rede tenham recebido um peso importante, esse critério não obteve influência significativa para as áreas com alto risco, pois a quantidade de domicílios sem a infraestrutura de rede de distribuição é relativamente baixa.

Entende, portanto, que estes resultados podem ser utilizados na tomada de decisão dos gestores

considerando duas vertentes eixos: a expansão urbana e o crescimento do SUDA propriamente dito, permitindo traçarem um planejamento mais criterioso em médio e longo prazos, minimizando situações que gerem riscos.

As propostas de resiliência e adaptabilidade aqui tratadas possuem grande importância no âmbito da mitigação dos riscos. Argumenta-se que um SUDA sustentável deve possuir, por exemplo, múltiplas fontes que podem ser distribuídas nas áreas mais suscetíveis a riscos. Existem cidades, por exemplo, que não possuem potencialidades de exploração de fontes subterrâneas, mas a captação de água de chuva pode ser implementada.

A disposição espacial de um SUDA ainda é uma limitação, dada a complexidade de informações e a carência de um banco de dados robusto. Pesquisas futuras podem aprimorar esse mapeamento de risco inserindo critérios relacionados ao crescimento das cidades, bem como fatores de ordem social.

## 6 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Estadual da Paraíba e ao CNPq pelo apoio financeiro por meio de bolsa concedida na cota 2017/2018.

## 7 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

## 8 REFERÊNCIAS

- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **População estimada**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/panorama>. Acesso em: 26 fev. 2020.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **População Residente**. 2010a. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/pesquisa/23/27652>. Acesso em: 12 mar. 2020.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Domicílios Atendidos**. 2010b. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/campina-grande/pesquisa/23/27652>. Acesso em: 12 mar. 2020.
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- CASTRO, J. S.; COSTA, L. S.; BARBOSA, G. R.; ASSEMAN, P. P.; CALIJURY, M. L. Utilização de SIG e Análise Multicritério para seleção de áreas com potencial para a construção de universidades e loteamentos universitários. **Boletim de Ciências Geodésicas**. v. 21, n. 3, p. 652-657, jul. set. 2015. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702015000300037>
- CORDÃO, M. J. S.; RUFINO, I. A. A.; ARAÚJO, E. L. Geotecnologias aplicadas ao gerenciamento de sistemas urbanos de abastecimento de água: uma proposta metodológica. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 18, n. 3, p. 263-274, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000300009>
- DAVIS, C. A. Water System Service Categories, Post-Earthquake Interaction, and Restoration Strategies. **Earthquake Spectra**, v. 30, n. 4, p.1487-1509, nov. 2014. <https://doi.org/10.1193/022912EQS058M>
- FALKENMARK, M.; XIA, J. Urban water supply under expanding water scarcity. In: LARSEN, T. A.; UDERT, K. M.; LIENERT, J. **Source Separation and Decentralization for Wastewater Management**. Londres: IWA publishing, p. 59-68, 2013. <https://doi.org/10.2166/9781780401072>
- GRANDE, M. H. D.; GALVÃO, C. O.; MIRANDA, L. I. B.; GUERRA SOBRINHO, L. D. The perception of users about the impacts of water rationing on their household routines. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 1, p.163-182, mar. 2016. <https://doi.org/10.1590/1809-4422ASOC150155R1V1912016>
- GRANDE, M.; GALVÃO, C.; MIRANDA, L.; RUFINO, I. Environmental equity as a criterion for water management. **Proceedings Of The International Association Of Hydrological Sciences**, v. 364, p.519-525, 17 set. 2014. <https://doi.org/10.5194/piahs-364-519-2014>
- HALL, J. W.; BORGOMEIO, E.; BRUCE, A.; MAURO, M. D.; MORTAZAVI-NAEINI, M. Resilience of Water Resource Systems: Lessons from England. **Water Security**, v. 8, p.100052-100061, dez. 2019. <https://doi.org/10.1016/j.wasec.2019.100052>
- HALL, J. W.; BROWN, S.; NICHOLLS, R. J.; PIDGEON, N. F.; WATSON, R. T. Proportionate adaptation. **Nature Climate Change**, v. 2, n. 12, p.833-834, 27 nov. 2012. <https://doi.org/10.1038/nclimate1749>
- KRUEGER, E.; RAO, P. S. C.; BORCHARDT, D. Quantifying urban water supply security under global change. **Global Environmental Change**, v. 56, p.66-74, maio 2019. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.03.009>
- LLOYD, S. D.; WONG, T. H. F.; CHESTERFIELD, C. J. **Water sensitive urban design - A stormwater management perspective**. Report 02/10. Victoria: Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, 2002.
- LUTHY, R. G.; SHARVELLE, S.; DILLON, P. Urban Stormwater to Enhance Water Supply. **Environmental Science & Technology**, v. 53, n. 10, p.5534-5542, 26 fev. 2019. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05913>
- MALCZEWSKI, J.; RINNER, C. **Multicriteria decision analysis in geographic information science**. 1. ed. Springer: New York, 2015.
- SAPKOTA, M.; ARORA, M.; MALANO, H.; MOGLIA, M.; SHARMA, A.; GEORGE, B.; PAMMINGER, F. An Overview of Hybrid Water Supply Systems in the Context of Urban Water Management: Challenges and Opportunities. **Water**, v. 7, n. 12, p.153-174, 29 dez. 2014. <https://doi.org/10.3390/w7010153>
- SEPLAN, Secretaria de Planejamento Municipal - Prefeitura Municipal de Campina Grande. **Base de Dados de Uso do Solo**. Campina Grande, 2010.
- SHORTRIDGE, J.; CAMP, J. S. Addressing Climate Change as an Emerging Risk to Infrastructure Systems. **Risk Analysis**, v. 39, n. 5, p.959-967, 19 nov. 2018. <https://doi.org/10.1111/risa.13234>
- SIEBERT, C. Resiliência Urbana: Planejando as Cidades para Conviver com Fenômenos Climáticos Extremos. In: VI Encontro Associação Nacional de Pós Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 7., 2012, Belém. Belém: Anppas, 2012. **Anais...**
- TSUYUGUCHI, B. B. **Macro drenagem e ocupação do solo no município de Campina Grande: caracterização, simulação de análises sistêmicas**. 100f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - PB, 2015.
- ULTRAMARI, C.; HUMMELL, B. Sobre la geografía de los fenómenos naturales y sus relaciones con las vulnerabilidades en Brasil. **Quivera Revista de Estudios Territoriales**, v. 13, n. 2, p. 14-33, abr. 2018.
- ZADEH L. A. **Fuzzy sets**. Information and Control, v. 8, p. 338-353, 1965. [https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)