

Desenvolvimento de um índice para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana em municípios de pequeno porte

Development of an index for performance evaluation of urban drainage systems in small municipalities

Mateus Clemente de Lacerda *, Andrea Carla Lima Rodrigues **, Dayse Luna Barbosa ***, Sinara Martins Camelo ****, Gabriele de Souza Batista *****

* Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, mateus.clemente@outlook.com

** Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, andrea.carla@professor.ufcg.edu.br

*** Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, dayseluna@yahoo.com.br

**** Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, sinara__@hotmail.com

***** Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, gabriele.souza@estudante.ufcg.edu.br

<http://dx.doi.org/10.5380/raega.v64i1.99042>

Resumo

A urbanização intensifica eventos extremos e aumenta a vulnerabilidade das populações, sobretudo em municípios pequenos, onde a falta de planejamento, os recursos limitados e a ausência/ineficiência da drenagem urbana agravam os impactos. Assim, é essencial avaliar e monitorar o desempenho desses serviços para identificar áreas críticas. Este trabalho desenvolveu um índice de desempenho para drenagem de águas pluviais adaptado às limitações dos municípios paraibanos, agregando indicadores relacionados a infraestrutura, manutenção, urbanização, saúde, gestão de riscos e legislação. A metodologia envolveu cinco etapas: caracterização da área de estudo, seleção de indicadores, definição da classificação nominal, aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* e aplicação do Índice de Desempenho do Serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais (IDDAP-PB). Os municípios de Areia, Cabaceiras, Natuba, Nova Olinda, São Bento, São José de Piranhas, São José dos Ramos e Serra Grande foram selecionados como estudos de caso. A consulta aos especialistas indicou maior importância atribuída aos indicadores de gestão de risco, sistema existente e urbanização. Foi possível constatar a precária infraestrutura e políticas de gestão de risco como os principais problemas enfrentados pelos municípios paraibanos. O índice se mostrou robusto na avaliação do desempenho dos sistemas de drenagem e coerente com a realidade, mas foi considerado sensível quanto à comparação entre municípios. Dentre os municípios, Serra Grande obteve melhor desempenho e Natuba o pior resultado. O IDDAP-PB pode direcionar políticas públicas e investimentos, reduzindo vulnerabilidades e apoiando decisões. A metodologia é replicável, mas depende da periodicidade e qualidade dos dados para garantir sua eficácia.

Palavras-chave:

Sustentabilidade urbana, Vulnerabilidade a inundações, Processo Analítico Hierárquico.

Abstract

Urbanization intensifies extreme events and increases population vulnerability, especially in small municipalities, where the lack of planning, limited resources, and the absence or inefficiency of urban drainage systems exacerbate the impacts. Thus, evaluating and monitoring the performance of these services is essential for identifying critical areas. This study developed a performance index for stormwater drainage adapted to the limitations of municipalities in Paraíba, incorporating indicators related to infrastructure, maintenance, urbanization, health, risk management, and legislation. The methodology comprised five steps: characterization of the study area, selection of indicators, definition of nominal classification, application of the Analytic Hierarchy Process method, and application of the Stormwater Drainage and Management Service Performance Index (IDDAP-PB). The municipalities of Areia, Cabaceiras, Natuba, Nova Olinda, São Bento, São José de Piranhas, São José dos Ramos, and Serra Grande were selected as case studies. Consultation with specialists indicated greater importance attributed to the indicators of risk management, existing systems, and urbanization. The results revealed precarious infrastructure and weak risk management policies as the main challenges faced by the municipalities of Paraíba. The index proved to be robust in assessing drainage system performance and consistent with local conditions, but it was considered sensitive when comparing municipalities. Among the municipalities analyzed, Serra Grande showed the best performance, while Natuba had the poorest result. The IDDAP-PB can guide public policies and investments, reducing vulnerabilities and supporting informed decision-making. The methodology is replicable but depends on data quality and periodicity to ensure its effectiveness.

Keywords:

Urban sustainability, Flood vulnerability, Analytic Hierarchy Process.

I. INTRODUÇÃO

As inundações urbanas tornaram-se um problema global, intensificado pelas mudanças climáticas e pelo rápido desenvolvimento urbano. Nas últimas décadas, a frequência desses eventos aumentou significativamente, representando um desafio para a sustentabilidade das cidades (Zabin et al., 2022). Para mitigar esses impactos, a gestão de inundações urbanas tem se concentrado na implementação e aprimoramento de sistemas de drenagem urbana, visando reduzir os danos causados por eventos extremos e promover a resiliência das áreas urbanas (Li et al., 2024; Luo; Zhang, 2022; Tang et al., 2024).

Estudos recentes destacam que as inundações urbanas representaram 43,31% de todos os desastres de inundação na China entre 2008 e 2018, evidenciando o aumento da amplitude e frequência desses eventos, o que torna o gerenciamento de riscos mais complexo (Kuriqi; Hysa, 2021). Em 2022, o Brasil apresentava 425 mil hectares de áreas urbanizadas a até 3 metros do rio mais próximo, dos quais 68% foram ocupados nos últimos

38 anos (MapBiomass, 2023). Esses dados reforçam a urgência de políticas e estratégias eficazes para mitigar os impactos das inundações urbanas.

No contexto dos municípios de pequeno porte, os quais são predominantes no território nacional, é possível observar grandes carências no setor do saneamento básico (Ferreira, 2020). Essas carências são acentuadas pelas dificuldades de gestão e planejamento e pela falta de recursos financeiros, administrativos e institucionais dos municípios de pequeno porte (Akaishi, 2012). A fim de proporcionar uma visibilidade maior a municípios dessa tipologia, optou-se pela escolha de municípios do estado da Paraíba como unidades de análise do estudo, tendo em vista que essas localidades carecem de investimentos, planejamento e capacidade técnica adequada na área de drenagem, necessitando de subsídios na tomada de decisões.

Os municípios de pequeno e médio porte também enfrentam inundações, resultantes da falta de planejamento na expansão urbana, da deficiência técnica dos gestores e da insuficiência ou ausência de sistemas de drenagem pluvial (Moreti et al., 2021). Para mitigar esses problemas, é essencial que o crescimento urbano seja acompanhado de medidas de planejamento eficientes. Nesse cenário, a utilização de indicadores para a criação de índices de desempenho tem se tornado uma prática comum globalmente, especialmente no Saneamento Ambiental, visando melhorar a prestação, regulação e planejamento dos serviços de saneamento (Von Sperling; Von Sperling, 2013). Essa abordagem ajuda a identificar áreas críticas e direcionar investimentos para reduzir vulnerabilidades e promover a sustentabilidade urbana.

No entanto, é fundamental que os instrumentos utilizados para avaliar o desempenho reflitam a realidade e preservem as particularidades da área estudada, destacando tanto os problemas quanto as potencialidades locais. Para isso, é necessário desenvolver metodologias de avaliação de desempenho adaptadas às limitações dos sistemas, especialmente no que diz respeito à disponibilidade de dados. Essas metodologias devem ser direcionadas para serviços essenciais, como os de saneamento básico, garantindo que sejam aplicáveis e eficazes mesmo em contextos com restrições de informações. Essa abordagem permite uma análise mais precisa e orientada para soluções que atendam às necessidades específicas de cada região.

Na literatura científica, diversos trabalhos já foram desenvolvidos com o objetivo de propor metodologias de índices para avaliação de sistemas de drenagem de águas pluviais, os quais se diferenciam principalmente pelos indicadores selecionados, pelos pesos atribuídos e pelas técnicas de análise empregadas. Steiner (2011) elaborou um índice de qualidade da drenagem urbana com base em Indicadores de Fragilidade do Sistema (IFG). O manual de drenagem e manejo de águas pluviais de São Paulo (2012) propôs oito campos de análise para monitoramento da gestão municipal, incluindo impermeabilização, eventos extremos e

aplicação de novas tecnologias. Por sua vez, Araújo (2016) e Mendonça e Souza (2019) incorporaram métodos multicritério de apoio à decisão, como AHP, PROMETHEE, ELECTRE-TRI e TOPSIS, estruturando a avaliação em dimensões ambientais, sociais, econômicas, técnicas e legais. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um índice de desempenho para o serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas, voltado para municípios de pequeno porte do estado da Paraíba. Esse índice foi concebido como uma ferramenta de gestão, agregando indicadores representativos da região com o apoio de um modelo multicritério de decisão. A proposta visa auxiliar na avaliação e no planejamento de sistemas de drenagem mais eficientes, contribuindo para cidades mais resilientes e para a mitigação dos danos causados por eventos adversos, como inundações e alagamentos.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

Para atender aos objetivos, o estudo foi dividido em cinco etapas metodológicas gerais: (i) caracterização da área de estudo; (ii) seleção dos indicadores; (iii) definição da classificação nominal; (iv) aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP); e (v) aplicação do índice de desempenho do serviço de drenagem e manejo de águas pluviais, além da análise da robustez dos índices, conforme apresentado no fluxograma da Figura 1.

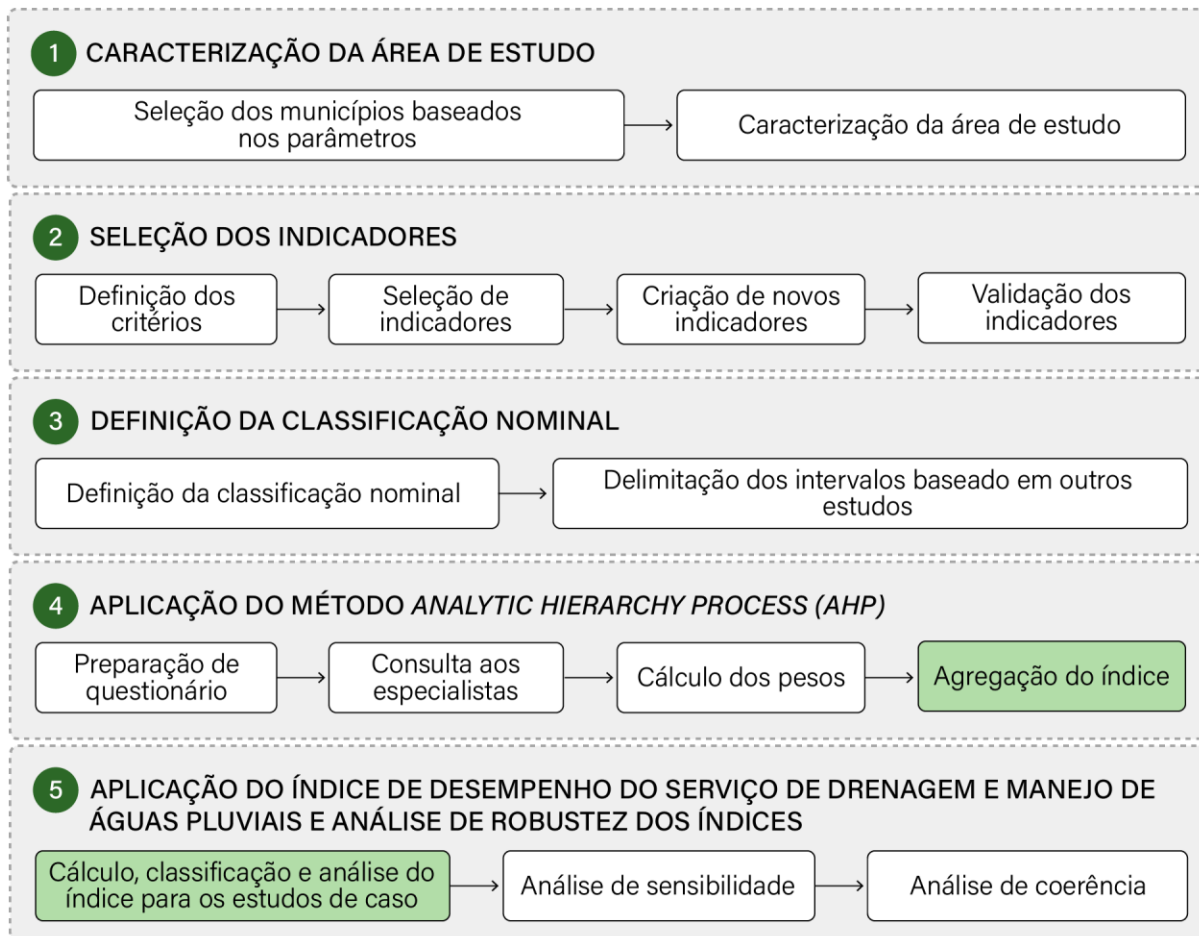


Figura 1 – Fluxograma metodológico do estudo, em que as caixas destacadas em verde representam o principal produto de cada etapa metodológica. Fonte: Autores (2025).

Caracterização da área de estudo

Considerando a relevância da parametrização do estudo, buscou-se diversificar a amostra de municípios para assegurar uma maior abrangência e aplicabilidade da pesquisa. Os estudos de caso foram selecionados com base em critérios geográficos, demográficos, características do sistema de drenagem e disponibilidade de indicadores relacionados ao tema, conforme será descrito a seguir. Optou-se por municípios do estado da Paraíba como unidades de análise, uma vez que essas localidades enfrentam carências de investimentos, planejamento e capacidade técnica na área de drenagem, demandando subsídios para a tomada de decisões mais informadas e eficazes.

O estado da Paraíba é dividido em quatro regiões geográficas intermediárias (IBGE, 2017), considerando aspectos geoeconômicos. Para garantir a descentralização geográfica do estudo, foram selecionados dois municípios de cada região intermediária. Além disso, a amostra foi restrita a municípios de pequeno porte, definidos como aqueles com menos de 50 mil habitantes, conforme o último Censo Demográfico (IBGE, 2022).

A seleção incluiu municípios com sistemas de drenagem separadores e unitários, abrangendo diferentes realidades. Os municípios escolhidos, juntamente com um resumo dos critérios de seleção, estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 – Municípios selecionados como estudo de caso e critérios levados em consideração.

Região intermediária	Município	Critérios		
		População estimada	Tipo de sistema de drenagem	Disponibilidade de indicadores
Sousa – Cajazeiras	Serra Grande	2.909	Separador	Ótima
	São José de Piranhas	20.251	Unitário	Boa
Patos	Nova Olinda	5.949	Unitário	Ótima
	São Bento	34.031	Unitário	Ótima
Campina Grande	Areia	22.819	Separador	Ótima
	Cabaceiras	5.611	Unitário	Boa
João Pessoa	São José dos Ramos	5.957	Separador	Ótima
	Natuba	10.454	Unitário	Ótima

Fonte: Autores (2025).

Os municípios selecionados (Figura 2) pertencem ao conjunto dos 49 participantes do Termo de Execução Descentralizada (TED) nº 03/2019, fruto da parceria entre a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e a Fundação Nacional de Saúde (Funasa) para a elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico, e foram escolhidos, além das características já descritas, com base na facilidade de obtenção de dados atualizados em visitas de campo. A Tabela 2 apresenta um resumo das informações físicas básicas relacionadas aos municípios selecionados, e que interferem direta ou indiretamente na capacidade de infiltração e escoamento superficial do solo.

Quanto à rede profunda de drenagem, as cidades de São José de Piranhas, Cabaceiras e Nova Olinda apresentam a maior cobertura. A cidade de Areia possui um sistema separador composto por 46 bocas de lobo e, aproximadamente, 2,75 km de galerias subterrâneas que desaguam nos riachos formados pelos vales existentes no município. Grande parte das águas das chuvas são direcionadas para o Norte do município, através das três grandes galerias.

O município de Cabaceiras possui galerias subterrâneas e bocas de lobo como dispositivos de drenagem. O sistema funciona em regime unitário, tendo em vista que a rede é compartilhada com o serviço de coleta de esgoto. Toda a água captada pelas bocas de lobo é direcionada para o Rio Taperoá que contorna a zona urbana. Já a cidade de Natuba não possui um sistema subterrâneo de drenagem de águas pluviais.

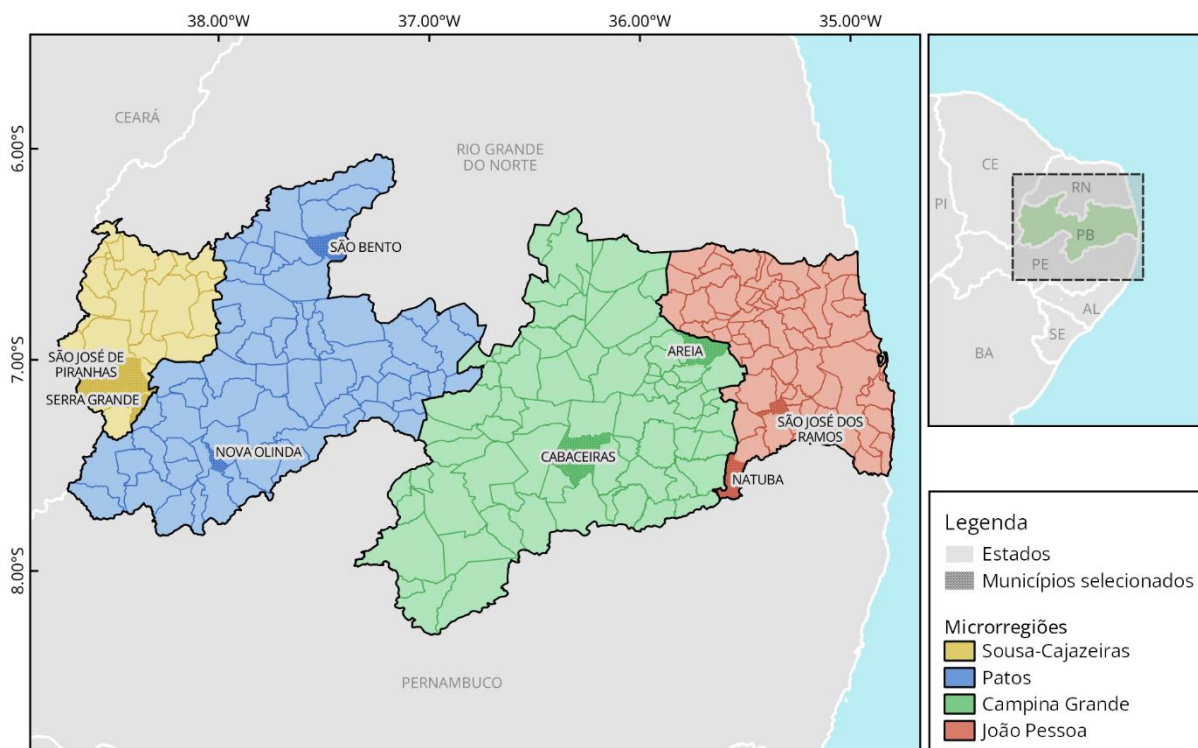


Figura 2 – Localização dos municípios selecionados como estudos de casos na Paraíba. Fonte: Autores (2025).

Tabela 2 – Resumo com as informações físicas básicas dos municípios selecionados.

Município	Área urbana (km²)	Solo	Clima	Declividade média	Relevo predominante
Areia	2,773	Argissolo Vermelho Eutrófico	Clima quente com chuva de inverno	18,86%	Fortemente ondulado
Cabaceiras	0,579	Luvissolo Crômico Órtico	Semiárido e quente	5,26%	Suavemente ondulado
Natuba	0,615	Nitossolo Vermelho Eutrófico	Clima quente com chuva de inverno	14,03%	Ondulado
Nova Olinda	0,695	Luvissolo Crômico Órtico	Clima quente com chuva de inverno	2,43%	Plano
São Bento	5,369	Neossolo Flúvico Eutrófico e Luvissolo Crômico Órtico	Semiárido e quente	3,12%	Plano e Suavemente ondulado
São José de Piranhas	2,278	Luvissolo Crômico Órtico	Clima quente com chuva de inverno	4,85%	Suavemente ondulado
São José dos Ramos	1,159	Luvissolo Crômico Órtico	Clima quente com chuva de inverno	4,05%	Suavemente ondulado
Serra Grande	0,415	Argissolo Vermelho Eutrófico	Clima quente com chuva de inverno	10,90%	Ondulado

Fonte: AESA (2020), EMBRAPA (2015), OpenStreetMap (2020), INPE (2008) e IBGE (2019).

A rede pluvial de Nova Olinda é composta por bocas de lobo, galerias subterrâneas e dois canais abertos de drenagem. O canal principal possui 2,72 km de extensão, com início em Nova Olinda e término em Pedra Branca/PB. O canal secundário, com extensão de 600 metros, contorna o perímetro leste da zona urbana. Foram mapeados 2,66 km de condutos subterrâneos e 39 bocas de lobo que formam um sistema unitário.

São Bento possui um sistema unitário de pequena cobertura composto por dois canais subterrâneos, galerias e bocas de lobo. As principais galerias conduzem a água para um açude existente a oeste do município que, em seguida, deságua no Rio Piranhas. Os dois canais subterrâneos existentes direcionam a água da chuva para o Rio Piranhas e São Bento de Baixo. Ressalta-se que toda a rede se concentra na região mais baixa do município.

O município de São José de Piranhas é coberto, quase em sua totalidade, por uma rede de drenagem de águas pluviais. O sistema unitário possui galerias subterrâneas e bocas de lobo. Toda a água é direcionada para os riachos e barragens que rodeiam a zona urbana, principalmente para o Riacho dos Patos e Riacho das Varas, que desaguam no Rio Piranhas.

São José dos Ramos possui um sistema unitário com apenas uma galeria subterrânea de 177 metros e 5 bocas de lobo. O canal que passa pela região central do município (anteriormente aberto) possui 274 metros de extensão. Todas as águas coletadas pela rede desaguam no Riacho Curimatã. Serra Grande possui um sistema de drenagem separador composto por 4 bocas de lobo e seus exultórios. As bocas de lobo são diretamente ligadas aos seus pontos de descarga às margens da zona urbana, não havendo galerias subterrâneas.

As áreas não urbanizadas, verdes e em expansão de uma cidade interferem diretamente no escoamento da água. Dessa forma, são apresentadas nos mapas das Figuras 3 a 6 as áreas livres, áreas de risco e pontos críticos de alagamentos identificados pelos funcionários das prefeituras municipais.

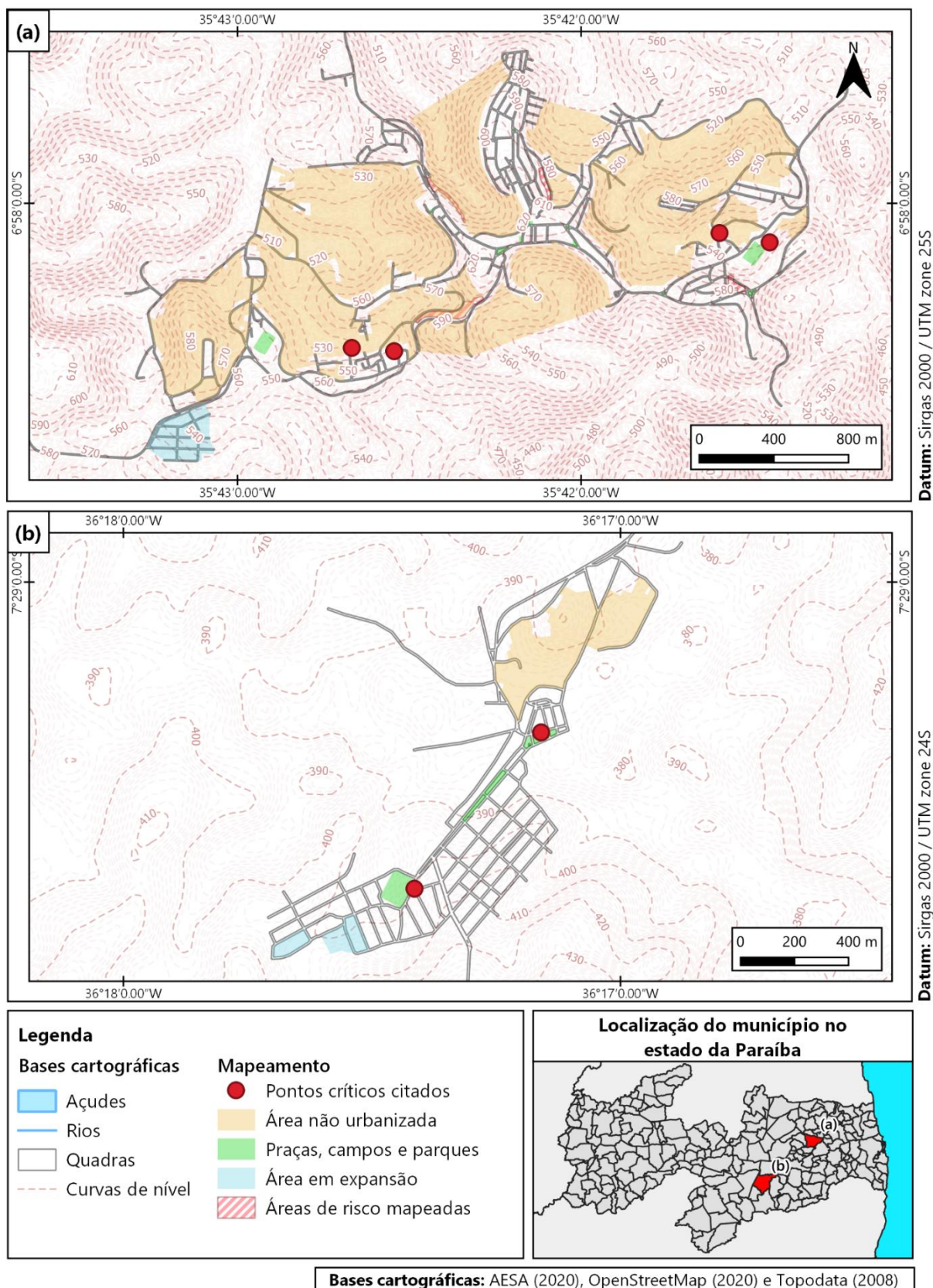
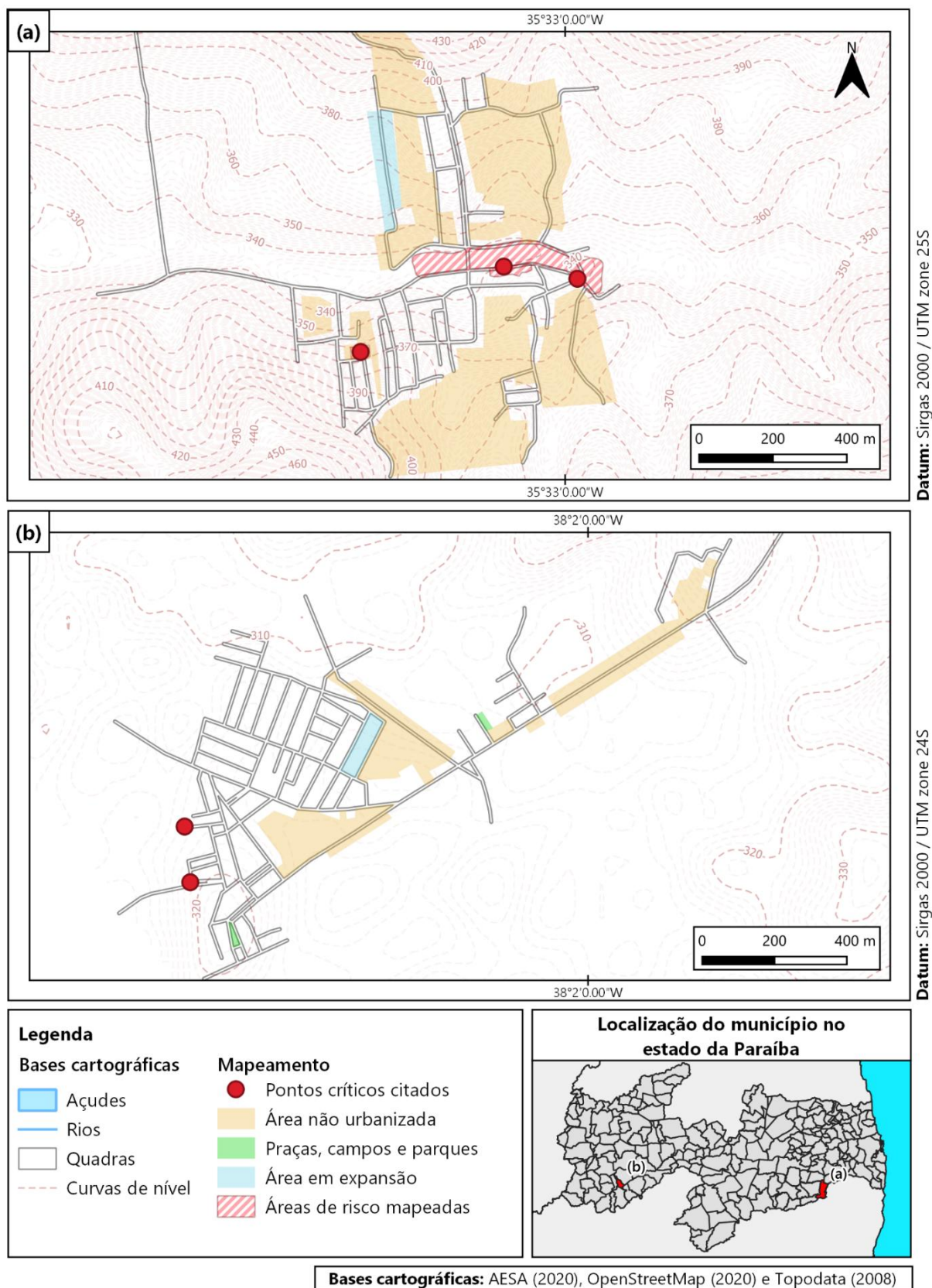


Figura 3 – Áreas livres, áreas de risco e pontos críticos citados pelos entrevistados dos municípios de (a) Areia/PB e (b) Cabaceiras/PB. Fonte: Autores (2025).



Bases cartográficas: AESA (2020), OpenStreetMap (2020) e Topodata (2008)

Figura 4 – Áreas livres, áreas de risco e pontos críticos citados pelos entrevistados dos municípios de (a) Natuba/PB e (b) Nova Olinda/PB. Fonte: Autores (2025).

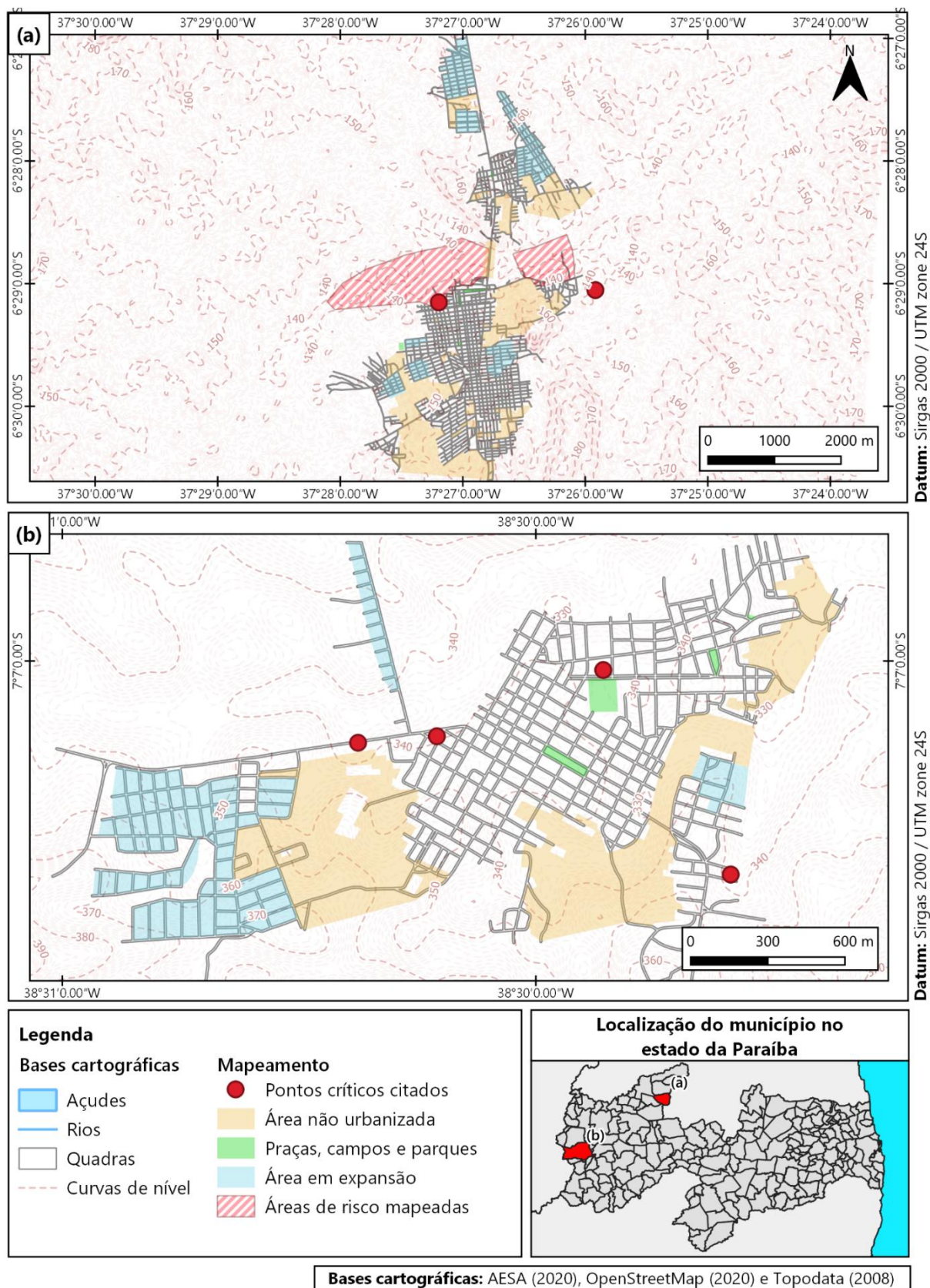


Figura 5 – Áreas livres, áreas de risco e pontos críticos citados pelos entrevistados dos municípios de ((a) São Bento/PB e (b) São José de Piranhas/PB. Fonte: Autores (2025).

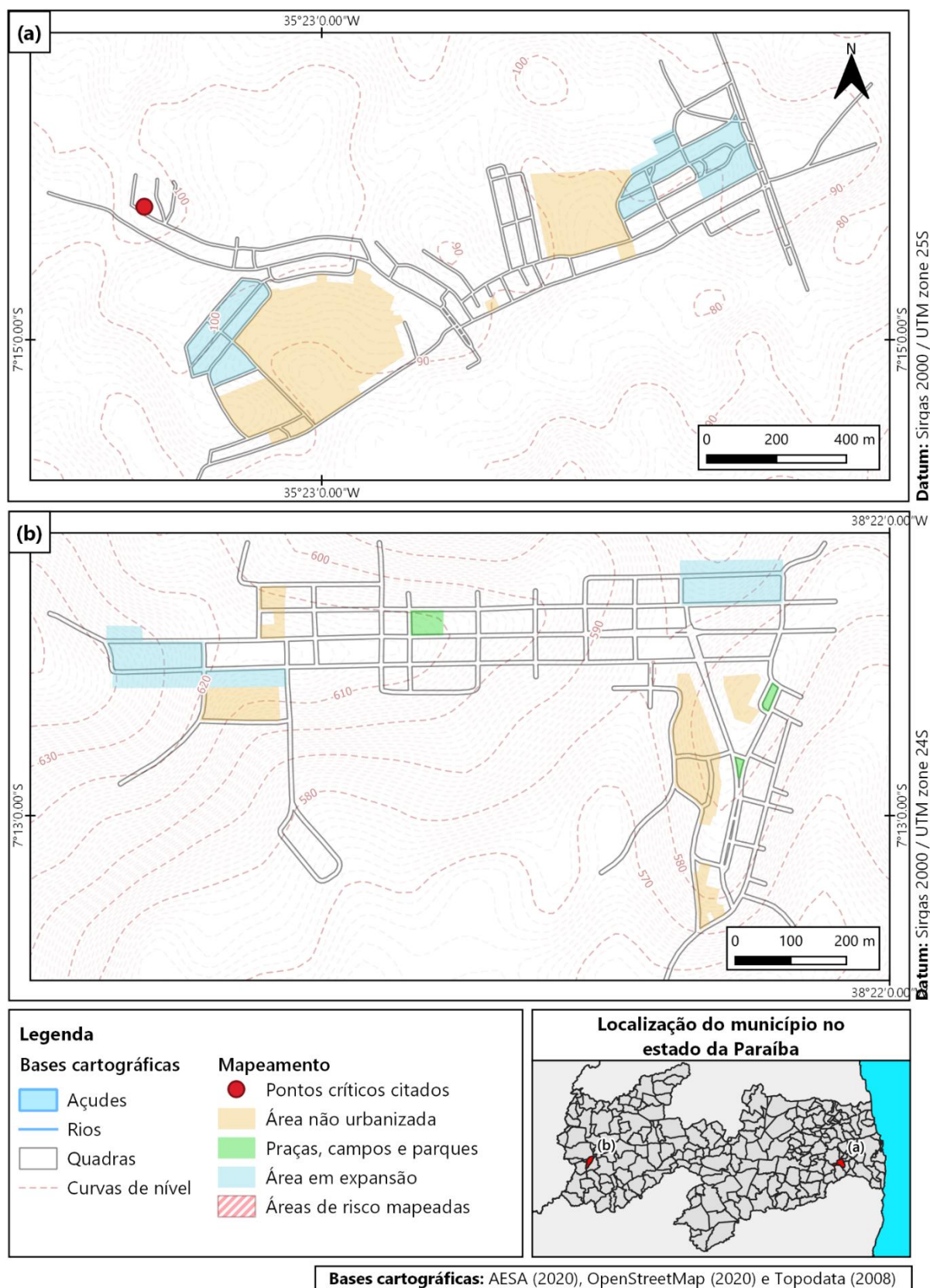


Figura 6 – Áreas livres, áreas de risco e pontos críticos citados pelos entrevistados dos municípios de (a) São José dos Ramos/PB e (b) Serra Grande/PB. Fonte: Autores (2025).

Seleção dos indicadores

A maioria dos indicadores utilizados neste estudo foi obtida a partir de fontes consolidadas, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), o DATASUS e o Sistema Integrado de Informações sobre Desastres (S2ID). Além desses, foram desenvolvidos dois novos indicadores: o indicador de compatibilização das curvas verticais em cruzamentos de vias e o indicador de coleta de lixo e manutenção do sistema, adaptados dos propostos por Silva, Pinheiro e Lopes (2013). Esses novos indicadores foram criados com o auxílio de ferramentas de geoprocessamento, como imagens do *Google Street View* e do satélite SENTINEL-2, permitindo uma análise mais precisa e contextualizada da realidade dos municípios estudados. Os indicadores selecionados para compor o índice foram agrupados em sete categorias que influenciam na qualidade e desempenho do sistema avaliado. Esses indicadores, suas formulações e unidades de medida estão detalhados no Quadro 1.

Quadro 1 – Formulação dos indicadores.

	Indicador	Formulação	Unidade
Sistema existente	Cobertura de vias públicas com rede subterrânea	$\frac{\text{Vias públicas com canais subterrâneos}}{\text{Extensão total de vias públicas}}$	%
	Taxa de Cobertura de Pavimentação e Meio-Fio	$\frac{\text{Fases de ruas com meio-fio}}{\text{Extensão total das faces de ruas}}$	%
	Fases de ruas com presença de bocas de lobo	$\frac{\text{Fases de ruas com bocas de lobo}}{\text{Extensão total de faces de ruas}}$	%
	Compatibilização das curvas verticais em cruzamentos de vias	Existência de compatibilização das curvas verticais em cruzamentos	Sim/Não
	Leitos naturais de drenagem canalizados na mancha urbana	$\frac{\text{Extensão de canais artificiais}}{\text{Extensão de leitos naturais na região urbana}}$	%
Manutenção do sistema	Manutenção do sistema de drenagem do ano de referência	Ocorrência de manutenção do sistema no ano de referência	Sim/Não
	Cobertura do serviço de coleta domiciliar direta	$\frac{\text{Área atendida pelo serviço de coleta}}{\text{Área urbana total}}$	%
Urbanização	Pavimentação de ruas	$\frac{\text{Extensão de vias pavimentadas}}{\text{Extensão total de vias públicas}}$	%
	Arborização urbana	$\frac{\text{Área arborizada}}{\text{Número de habitantes}}$	m ² /hab
	Impermeabilização	$\frac{\text{Área impermeabilizada}}{\text{Área urbana total}}$	%
Saúde	Índice de internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada nos últimos 10 anos	$\frac{\text{Internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada nos últimos 10 anos}}{\text{População total}}$	Intern./100 mil hab

Fonte: Autores (2025).

Quadro 1 – Formulação dos indicadores (continuação).

Indicador		Formulação	Unidade
Econômico-financeiros	Despesa per capita com serviços de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas	Valor per capita gasto com serviços de drenagem e manejo de águas pluviais	R\$/hab.ano
	Precipitação anual média dos últimos 20 anos	Precipitação anual média da série histórica	mm
Gestão de risco e condições de estado	Ocorrência de alagamentos e enxurradas nos últimos 20 anos	Número de eventos extremos ocorridos nos últimos 20 anos	Ocorrências
	População impactada por eventos hidrológicos nos últimos 5 anos	População impactada por eventos extremos nos últimos 5 anos	Hab
	Área urbana considerada oficialmente de risco	Áreas de risco mapeadas pela CPRM Área urbana total	%
	Parcela de domicílios em situação de risco	Área Domicílios em situação de risco Total de domicílios na área urbana	%
	Vias de acesso comprometidas em épocas de chuva	Vias de acesso comprometidas Vias de acesso totais	%
	Densidade de pontos críticos na zona urbana citados por locais	Pontos críticos citados em entrevista Área urbana total	Pontos/km ²
	Existência de instituições de gestão de risco	Existência de instituições de gestão de risco	Sim/Não
	Existência de sistemas de alerta	Existência de sistemas de alerta	Sim/Não
	Existência de plano diretor ou plano diretor de drenagem urbana	Existência de plano diretor	Sim/Não
Institucionais e legislativos	Existência de plano diretor ou plano diretor de drenagem urbana	Existência de plano diretor	Sim/Não

Fonte: Autores (2025).

Definição da classificação nominal

Para a criação das categorias de enquadramento de desempenho atribuiu-se uma escala nominal associada a intervalos do índice. A delimitação dos intervalos baseou-se em trabalhos anteriores na área de saneamento ambiental (Ogata, 2014; Lopes et al., 2016; Novaes, 2017). As cinco classificações nominais estabelecidas foram: excelente, bom, mediano, ruim, péssimo. Os intervalos do índice para cada uma das classificações nominais encontram-se na Tabela 2.

Tabela 3 – Categorias de enquadramento de desempenho.

Classificação nominal	Intervalos atribuídos ao IDDAP-PB
Excelente	0,76 – 1,00
Bom	0,61 – 0,75
Mediano	0,46 – 0,60
Ruim	0,31 – 0,45
Péssimo	0 – 0,30

Fonte: Autores (2025).

Aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

O método de análise hierárquica, conhecido como *Analytic Hierarchy Process* (AHP), foi desenvolvido em 1970 pelo professor Thomas L. Saaty, da *University of Pennsylvania*, sendo um dos primeiros modelos criados para apoiar a tomada de decisões em ambientes com múltiplos critérios, tanto quantitativos quanto qualitativos (Pereira; Brandalise; Mello, 2016). Essa abordagem permite solucionar problemas complexos e dinâmicos, pois o sistema de decisão é estruturado de forma hierárquica, organizando os elementos do processo que possuem características similares. Isso facilita a identificação rápida desses aspectos, especialmente quando o objetivo é escolher entre alternativas com base em múltiplos atributos (Tona et al., 2017).

A estrutura hierárquica do modelo desenvolvido está representada na Figura 7. Para a definição dos pesos, foi realizada a aplicação de um questionário (Anexo A). Foi adotada uma amostragem não probabilística intencional por conveniência, na qual foram selecionados 19 especialistas em drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, provenientes de diversas instituições educacionais da Paraíba. Durante o processo, houve cuidado para evitar conflitos de interesse, garantindo a imparcialidade e a confiabilidade das respostas obtidas. Essa abordagem permitiu uma avaliação criteriosa e fundamentada, essencial para a validação do modelo proposto.



Figura 7 – Localização dos municípios selecionados como estudos de casos na Paraíba. Fonte: Autores (2025).

A atribuição das intensidades de importância foi feita por meio da aplicação de questionários aos especialistas, utilizando uma escala de 1 a 9 (Saaty, 1990). Com base nas respostas, foram obtidos os pesos dos agrupamentos de critérios em relação ao objetivo geral, bem como os pesos relativos dos critérios dentro de

cada agrupamento. Essa metodologia permitiu uma avaliação estruturada e consistente, essencial para a tomada de decisões informadas.

As matrizes de julgamentos, utilizadas para determinar os pesos associados aos indicadores, foram preenchidas com base na experiência de especialistas na área de estudo. No entanto, esses julgamentos podem apresentar inconsistências lógicas, especialmente em matrizes de ordens elevadas. Para avaliar a consistência das respostas, foi utilizado o índice de consistência proposto por Saaty (1990), representado pela Equação 1, onde $\lambda_{\text{máx}}$ corresponde ao autovalor máximo e N é a ordem da matriz.

$$IC = \frac{|\lambda_{\text{máx}} - N|}{N - 1} \quad \text{Eq. (1)}$$

Para reduzir a subjetividade e as inconsistências inerentes ao método, Saaty (1990) propôs a Razão de Consistência (RC), representada pela Equação 2. Nessa fórmula, IC corresponde ao índice de consistência da matriz, e IR é o índice de consistência randômico, que varia de acordo com a ordem da matriz. A Razão de Consistência permite avaliar a confiabilidade dos julgamentos realizados pelos especialistas, assegurando que as respostas estejam dentro de um limite aceitável de consistência, geralmente definido como $RC \leq 0,10$.

$$RC = \frac{IC}{IR} \quad \text{Eq. (2)}$$

Caso esse limite não seja atingido, o especialista deve ser solicitado a revisar seus julgamentos, ajustando as respostas para garantir a consistência lógica necessária. Essa etapa é crucial para assegurar a confiabilidade e a validade dos pesos atribuídos aos critérios, mantendo a robustez do processo de tomada de decisão.

Os indicadores foram agregados segundo o método aritmético de média ponderada, onde cada indicador normalizado é multiplicado por seu respectivo peso, havendo um somatório de todos os produtos. Os indicadores precisam ser normalizados. como modo de transformar todas as variáveis em números adimensionais e de mesma ordem de grandeza, de forma que possa haver comparação entre as variáveis e que o índice varie no intervalo delimitado de 0 a 1. A normalização foi realizada a partir do método do melhoramento contínuo. Para maior detalhamento do método, buscar Ogata (2014) e Lacerda (2021).

A partir dos indicadores agregados e dos pesos obtidos, foi proposta a Equação 3 que representa o Índice de desempenho do serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas de municípios de pequeno porte do estado da Paraíba (IDDAP-PB). Os valores do IDDAP-PB variam de 0 a 1, sendo 0 correspondente à classificação “péssima” e 1 à classificação “excelente”, conforme apresentado na Tabela 3.

$$IDDAP - PB = \sum_{i=0}^N w_i \cdot I_i \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde: $IDDAP-PB$ equivale ao Índice de desempenho do serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas de municípios de pequeno porte do estado da Paraíba; w_i equivale ao peso atribuído ao indicador; I_i a cada indicador selecionado; e N ao número total de indicadores utilizados.

Aplicação do Índice de Desempenho do Serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais e Análise de robustez do índice

Os resultados derivados dos modelos multicritérios possuem uma grande influência dos pesos atribuídos aos seus parâmetros. A robustez do modelo foi avaliada para dois objetivos diferentes: a obtenção de um ranking de municípios com melhor serviço de drenagem de águas pluviais e sua classificação.

Para a aferição do desempenho dos sistemas dos municípios, buscou-se analisar os valores mínimos e máximos que os pesos de cada indicador podem atingir sem que haja uma mudança maior que 0,07 no seu índice absoluto. Esse critério foi definido de forma que o município que obtiver o índice igual ao valor central de qualquer uma das classes nominais, não altere a sua classificação após o somatório ou subtração do número. Considerando a comparação entre vários municípios, procurou-se obter os valores mínimos e máximos sem que houvesse mudança no ranking dos municípios. O cálculo dos limites foi realizado a partir do *software* Microsoft Excel.

Por fim, avaliou-se a coerência do índice desenvolvido em relação à realidade das cidades estudadas, considerando suas características geográficas, demográficas e urbanas, comparando-o com a situação do sistema de drenagem nos municípios selecionados. A análise baseou-se em informações de reuniões com técnicos municipais, dados de jornais regionais, relatórios de áreas de risco e trabalhos acadêmicos, que permitiram analisar corpos d'água, áreas de expansão urbana e zonas de risco de inundação, além de aspectos como tipo de solo e cobertura do sistema de drenagem, garantindo uma avaliação abrangente e representativa da realidade de cada município.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seleção dos indicadores

Os indicadores propostos na metodologia foram analisados quanto à relevância, redundância com outros indicadores, aplicabilidade a municípios de pequeno porte e confiabilidade dos valores encontrados. Essa

metodologia assegura que o índice desenvolvido seja representativo, adaptado às realidades locais e fundamentado em dados precisos e confiáveis, promovendo uma avaliação robusta e contextualizada.

Após consulta a especialistas através de questionário, três dos indicadores obtiveram média abaixo de dois, configurando-os como de baixa relevância e por isso foram excluídos do estudo. Foram eles: Despesa per capita com serviços de drenagem; Precipitação anual média; e, Vias de acesso à cidade comprometidas. Esse resultado pode ser explicado pela baixa influência desses indicadores no sistema de drenagem urbana ou pela interferência de outros fatores na interpretação dos seus valores.

Os indicadores redundantes foram analisados quanto à relevância dada pelos especialistas. Aquele com a menor média ponderada de cada par foi excluído. Assim, foram excluídos os indicadores “Taxa de pavimentação de ruas”, “Área urbana considerada de risco” e “Taxa de ruas com rede pluvial subterrânea”.

A existência de sistemas de alerta também foi removida dos indicadores propostos pela baixa aplicabilidade sob a perspectiva das cidades de pequeno porte do estado da Paraíba. Nenhum dos municípios do estado possui sistema de alerta de eventos extremos relacionados à drenagem urbana. Os sistemas existentes são estaduais e resumem-se a alertas de eventos de chuvas intensas. Dessa forma, a contribuição desse indicador ao índice seria mínima por não haver diferenças entre os municípios. Por último, o indicador de população impactada por eventos hidrológicos foi excluído devido à baixa confiabilidade de seus valores. Finalmente, os indicadores selecionados para compor o índice encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2 – Descrição e formulação dos indicadores.

Categoria	Sigla	Indicador
Sistema existente	<i>ISE₂</i>	Taxa de Cobertura de Pavimentação e Meio-Fio
	<i>ISE₃</i>	Faces de ruas com presença de bocas de lobo
	<i>ISE₄</i>	Compatibilização das curvas verticais em cruzamentos de vias
	<i>ISE₅</i>	Leitos naturais de drenagem canalizados na mancha urbana
Manutenção do sistema	<i>IMS₁</i>	Manutenção do sistema de drenagem do ano de referência
	<i>IMS₂</i>	Cobertura do serviço de coleta domiciliar direta
Urbanização	<i>IUR₂</i>	Arborização urbana
	<i>IUR₃</i>	Impermeabilização do solo
Saúde	<i>ISA₁</i>	Internações relacionadas à drenagem inadequada (int./100 mil hab)
Gestão de risco e condições de estado	<i>IGR₂</i>	Ocorrência de alagamentos e enxurradas nos últimos 20 anos
	<i>IGR₅</i>	Parcela de domicílios em situação de risco
	<i>IGR₇</i>	Densidade de pontos críticos na zona urbana citados por locais
	<i>IGR₈</i>	Existência de instituições de gestão de risco
Institucionais e legislativos	<i>IIL₁</i>	Existência de legislação específica para drenagem

Fonte: Autores (2025).

A partir dessa seleção, observa-se que os indicadores mantidos refletem diferentes dimensões da suscetibilidade a inundações urbanas. Variáveis de natureza estrutural, como a taxa de cobertura de pavimentação e meio-fio, as faces de ruas com presença de bocas de lobo e a compatibilização das curvas verticais em cruzamentos, atuam na redução da vulnerabilidade, ao favorecer o escoamento eficiente das águas pluviais. A manutenção periódica do sistema e a adequação dos leitos naturais de drenagem também contribuem para reduzir a ocorrência de alagamentos. Em contrapartida, a impermeabilização do solo e a densidade de pontos críticos aumentam a suscetibilidade ao agravar o escoamento superficial e a exposição das áreas urbanas. Já os indicadores de natureza ambiental e institucional, como a arborização urbana, a existência de instituições de gestão de risco e de legislação específica para drenagem, representam fatores mitigadores, pois refletem a capacidade de planejamento e resposta dos municípios a eventos extremos.

Aplicação do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP)

As razões de consistência das matrizes de julgamentos paritários foram calculadas considerando a ordem $N=14$ e $IR=1,57$ (Saaty, 1990). Os valores da razão de consistência de cada matriz de julgamentos encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 – Categorias de enquadramento de desempenho para cada questionário avaliado.

Especialistas	Autovalor máximo	Índice de consistência	Razão de consistência	Situação final
1	15,958	0,151	0,096	Consistente
2	15,990	0,153	0,098	Consistente
3	15,678	0,129	0,082	Consistente
4	16,785	0,214	0,136	Inconsistente
5	15,979	0,152	0,097	Consistente
6	15,875	0,144	0,092	Consistente
7	18,151	0,319	0,203	Inconsistente
8	15,355	0,104	0,066	Consistente
9	15,968	0,151	0,096	Consistente
10	15,672	0,129	0,082	Consistente
11	17,464	0,266	0,170	Inconsistente
12	15,823	0,140	0,089	Consistente

Fonte: Autores (2025).

Conforme recomendado por Saaty (1990), as matrizes com Razão de Consistência (RC) $\leq 0,10$ são consideradas consistentes e, portanto, válidas para serem utilizadas no processo. No caso das matrizes inconsistentes, que totalizaram três das doze analisadas (25,0%), o procedimento ideal seria revisar os julgamentos com os especialistas que as preencheram, a fim de reduzir as incoerências. No entanto,

considerando que a maioria das matrizes (nove das doze) apresentou consistência aceitável e que as inconsistências identificadas não comprometem significativamente a robustez geral do modelo, optou-se por prosseguir com a análise sem exclusão de respostas e/ou revisões adicionais.

Para determinar o peso final de cada indicador, foi realizado um tratamento estatístico dos dados com o objetivo de identificar e eliminar *outliers* (valores atípicos, definidos como aqueles fora do intervalo de 1,5 vez a amplitude interquartil da amostra). A estatística descritiva dos pesos, após a remoção dos outliers, está detalhada na Tabela 5. Como a eliminação desses valores alterou a distribuição dos dados, foi necessária a normalização das médias dos indicadores, garantindo que a soma final dos pesos resultasse em 1. Esse procedimento assegurou a consistência e a confiabilidade dos pesos atribuídos a cada indicador.

Tabela 5 – Estatística descritiva dos pesos de cada indicador, incluindo: valor mínimo, valor máximo, média e desvio padrão.

Siglas	Indicadores	Estatística descritiva				Peso final
		Valor mínimo	Valor máximo	Média	Desvio padrão	
ISE ₂	Taxa de Cobertura de Pavimentação e Meio-Fio	0,0136	0,1153	0,0472	0,0372	0,0542
ISE ₃	Faces de ruas com presença de bocas de lobo	0,0102	0,1389	0,0627	0,0412	0,072
ISE ₄	Compatibilização das curvas verticais em cruzamentos de vias	0,02	0,0984	0,0465	0,0284	0,0534
ISE ₅	Leitos naturais de drenagem canalizados na mancha urbana	0,0094	0,1056	0,0448	0,0371	0,0515
IMS ₁	Manutenção do sistema de drenagem do ano de referência	0,0264	0,0509	0,0381	0,0085	0,0438
IMS ₂	Cobertura do serviço de coleta domiciliar direta	0,0234	0,1185	0,0555	0,0365	0,0638
IUR ₂	Arborização urbana	0,0118	0,0893	0,0459	0,0303	0,0527
IUR ₃	Impermeabilização do solo	0,037	0,1673	0,0973	0,0425	0,1118
ISA ₁	Internações relacionadas à drenagem inadequada (int./100 mil hab)	0,0182	0,1158	0,0508	0,0365	0,0583
IGR ₂	Ocorrência de alagamentos e enxurradas nos últimos 20 anos	0,0261	0,1694	0,087	0,0522	0,1
IGR ₅	Parcela de domicílios em situação de risco	0,0173	0,1797	0,0846	0,0475	0,0972
IGR ₇	Densidade de pontos críticos na zona urbana	0,0309	0,1375	0,082	0,0341	0,0943
IGR ₈	Existência de instituições de gestão de risco	0,0156	0,0932	0,0582	0,0303	0,0668
IIL ₁	Existência de legislação específica para drenagem	0,0159	0,1691	0,0696	0,0538	0,08
Soma		-	-	0,8701	-	1,0000

Fonte: Autores (2025).

A partir da Tabela 5, observa-se que os maiores pesos foram atribuídos aos indicadores de parcela de domicílios em situação de risco e taxa de impermeabilização do solo. Os estudos de Basal et al. (2022) e Swain et al. (2020) também atribuem pesos elevados aos indicadores relacionados à vulnerabilidade da população ao risco, uma vez que a exposição das comunidades a eventos extremos hidrológicos possui implicações diretas

para a saúde pública, segurança e bem-estar social. Para Gao et al. (2022), a impermeabilização do solo é um fator crítico em áreas urbanas, pois eleva os picos de cheias e sobrecarrega os sistemas de drenagem.

De acordo com a avaliação dos especialistas, fatores como o histórico de eventos extremos, a ausência ou desrespeito às leis de uso e ocupação do solo, a ação antrópica direta na impermeabilização do solo e a infraestrutura inadequada são os principais responsáveis pelo desempenho do sistema de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, representando aproximadamente 51,52% do índice. Por outro lado, os indicadores de manutenção do sistema e taxa de arborização urbana receberam os menores pesos finais, refletindo uma menor influência percebida no desempenho geral do sistema.

Os resultados demonstram uma maior adesão dos especialistas às novas abordagens da drenagem urbana, alinhadas com práticas sustentáveis. Indicadores baseados na preservação do cenário pré-urbanizado, como a taxa de impermeabilização do solo e a preservação de leitos naturais canalizados, representam 16,52% do índice. Em contraste, os indicadores relacionados aos sistemas convencionais de drenagem, que focam em soluções tradicionais, somam 12,62%. Essa diferença reflete uma tendência crescente de valorização de estratégias que priorizam a integração com o meio ambiente e a redução de impactos causados pela urbanização (Kourtis; Tsihrintzis, 2021).

Os pesos finais atribuídos a cada uma das categorias de indicadores estão detalhados na Tabela 6. É importante ressaltar que a categoria econômico-financeira foi excluída ainda na etapa de validação, devido à baixa relevância do indicador selecionado e à dificuldade em obter dados econômicos confiáveis e específicos para sistemas de drenagem urbana. Essa limitação reflete os desafios enfrentados, especialmente por município de pequeno porte, na coleta de informações financeiras precisas e desagregadas, devido à disponibilidade de dados restrita, a escassez de técnicos capacitados e à sobrecarga de atividades (Moretti et al., 2021).

Tabela 6 – Pesos finais por categoria de indicadores do índice desenvolvido.

Categoria	Peso final
Sistema existente	0,2311
Manutenção do sistema	0,1076
Urbanização	0,1645
Saúde	0,0583
Gestão de risco e condições de estado	0,3583
Institucionais e legislativos	0,0800

Fonte: Autores (2025).

Dessa forma, a equação do Índice de Desempenho do Serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas (IDDAP-PB), aplicável a municípios de pequeno porte do estado da Paraíba, foi obtida por meio da

agregação dos produtos entre os pesos finais atribuídos e seus respectivos indicadores. O índice é representado pela Equação 4, que sintetiza a contribuição de cada indicador para a avaliação global do desempenho do sistema de drenagem. Essa abordagem permite uma análise quantitativa e estruturada, facilitando a identificação de áreas prioritárias para intervenções e melhorias.

$$\begin{aligned} \text{IDDP} - \text{PB} = & 0,0542 \cdot \text{ISE}_2 + 0,0720 \cdot \text{ISE}_3 + 0,0534 \cdot \text{ISE}_4 + 0,0515 \cdot \text{ISE}_5 + 0,0438 \cdot \text{IMS}_1 + 0,0638 \\ & \cdot \text{IMS}_2 + 0,0527 \cdot \text{IUR}_2 + 0,1118 \cdot \text{IUR}_3 + 0,0583 \cdot \text{ISA}_1 + 0,1000 \cdot \text{IGR}_2 + 0,0972 \\ & \cdot \text{IGR}_5 + 0,0943 \cdot \text{IGR}_7 + 0,0668 \cdot \text{IGR}_8 + 0,0800 \cdot \text{IIL}_1 \end{aligned} \quad \text{Eq. (4)}$$

Aplicação do Índice de Desempenho do Serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais

A Tabela 7 apresenta os valores obtidos para os indicadores selecionados em cada um dos estudos de caso. Os dados secundários, que correspondem a 65,41% do índice, foram coletados de bancos de dados consolidados, sendo fundamentais para a análise da situação dos municípios. Além disso, foram desenvolvidos cinco indicadores específicos, que representam 34,59% do índice, complementando a avaliação com informações adaptadas às realidades locais. Essa combinação entre dados secundários e indicadores criados proporciona uma análise mais abrangente e precisa do desempenho dos sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais nos municípios estudados, permitindo uma visão detalhada e contextualizada dos desafios e potencialidades de cada localidade.

A compatibilização das sarjetas nos cruzamentos está presente em quase todos os municípios estudados, contribuindo para evitar o acúmulo de água da chuva nas vias públicas. Quanto aos leitos de drenagem que atravessam as áreas urbanas, a maioria dos municípios possui leitos naturais, muitas vezes com margens ocupadas por edificações, o que pode comprometer o escoamento eficiente. Apenas Nova Olinda e Serra Grande destacam-se por ter todos os leitos canalizados, seguindo os cursos naturais de água e preservando o escoamento natural da chuva. Essa diferença reflete variações nas práticas de gestão e infraestrutura entre os municípios analisados.

As taxas de arborização urbana variam significativamente entre os municípios analisados. Os municípios localizados nas regiões mais orientais do Planalto da Borborema, como Areia e Cabaceiras, apresentam um desempenho superior nesse indicador, refletindo uma maior cobertura vegetal. Por outro lado, municípios mais próximos ao litoral e ao sertão do estado registram taxas menores de arborização.

Já a taxa de impermeabilização do solo na zona urbana apresenta variações consideráveis. O município de Areia destaca-se com valores extremamente baixos, enquanto Nova Olinda, Serra Grande e São José dos

Ramos registram taxas mais elevadas, devido à maior exposição do solo e à intensificação das atividades urbanas.

Tabela 7 – Valores obtidos para cada um dos indicadores do índice desenvolvido.

Indicadores	Município							
	Areia	Cabaceiras	Natuba	Nova Olinda	São Bento	São José de Piranhas	São José dos Ramos	Serra Grande
Ruas com Pavimentação e Meio-Fio (%)	88,90	83,33	80,00	80,00	89,29	55,00	80,00	47,06
Ruas com bocas de lobo (%)	16,72	1,42	18,80	4,56	12,56	0,50	31,86	6,15
Compatibilização de sarjetas em cruzamentos	Não	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Taxa de leitos naturais canalizados (%)	11,70	13,79	14,76	100,00	17,72	2,18	51,93	100
Houve manutenção do sistema?	Não	Não	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim
Cobertura do serviço de coleta de lixo (%)	100,0	100,00	100,00	99,91	100,00	100,00	100,00	100
Taxa de arborização urbana (m ² /hab.)	71,81	53,16	1,27	12,65	29,1	12,61	5,84	58,34
Taxa de impermeabilização do solo (%)	38,75	50,69	51,94	56,75	50,50	51,13	53,64	53,56
Internações relacionadas à drenagem inadequada (int./100 mil hab.)	16,3	14,7	4,8	41,4	92,9	308,9	12,3	16,7
Alagamentos e enxurradas, nos últimos 20 anos (unid.)	2	3	3	2	2	0	4	0
Domicílios em situação de risco (%)	1,70	6,50	4,12	0,00	0,50	2,00	8,30	0,00
Densidade de pontos críticos de alagamento (unid./km)	0,74	0,66	2,52	1,42	0,19	0,76	0,63	0
Existência de instituições de gestão de risco	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não
Existência de legislação específica para drenagem	Não	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não

Fonte: IBGE (2010), SNIS (2019), S2ID (2020) e DATASUS (2020).

Essas diferenças evidenciam as particularidades geográficas e socioeconômicas de cada localidade, impactando diretamente o desempenho dos sistemas de drenagem e manejo de águas pluviais. Fatores como a localização geográfica, o clima, a densidade populacional e as práticas de urbanização influenciam a capacidade de resposta desses sistemas, destacando a necessidade de abordagens personalizadas para enfrentar os desafios específicos de cada município (Baum; Goldenfum, 2021), como o que foi desenvolvido nesse estudo. Essa contextualização é essencial para o planejamento de intervenções eficazes e sustentáveis.

Os indicadores relacionados ao sistema existente mostram uma predominância de dispositivos superficiais, como sarjetas, que auxiliam no escoamento das águas pluviais. Esses dispositivos estão presentes em mais de 80% dos municípios analisados, com exceção de São José de Piranhas, que apresenta uma cobertura menor. Por outro lado, os dispositivos de drenagem profunda, como bocas de lobo e galerias, têm uma cobertura média de 10%, variando entre 0% e 30% nos municípios estudados. Essa disparidade reflete a predominância de soluções superficiais na maioria das localidades, enquanto sistemas mais complexos e profundos são menos frequentes, indicando possíveis lacunas na infraestrutura de drenagem.

No ano de 2019, a manutenção do sistema de drenagem foi realizada em apenas três dos municípios analisados, o que evidencia que a maioria deles não realiza manutenções frequentes dos dispositivos de drenagem. Por outro lado, o serviço de coleta de lixo está presente em todos os municípios. No entanto, as visitas técnicas demonstraram que ainda é comum encontrar resíduos acumulados nas ruas, o que prejudica o desempenho do sistema de drenagem, obstruindo sarjetas, bocas de lobo e outros dispositivos, e aumentando os riscos de alagamentos e inundações (Rodrigues et al., 2022).

O levantamento do número de internações por doenças relacionadas à drenagem inadequada nos últimos 10 anos revelou frequências elevadas em São Bento e São José de Piranhas, indicando uma menor eficiência dos sistemas de drenagem nesses municípios. Nos demais municípios, as taxas são mais baixas, variando entre 4,8 e 16,7 internações a cada 100 mil habitantes. Além disso, o número de alagamentos e enxurradas registrados nos últimos 20 anos é relativamente constante entre os municípios, sugerindo que esses eventos são comuns na região, independentemente das diferenças na eficiência dos sistemas de drenagem. Esses dados reforçam a necessidade de investimentos em infraestrutura e gestão de riscos para reduzir os impactos negativos associados à drenagem inadequada.

Através do indicador que avalia a parcela de domicílios em situação de risco, observou-se que a presença de córregos, riachos, açudes e rios próximos às áreas urbanas está diretamente relacionada a um maior número de edificações e pessoas em risco. O município de São José de Piranhas, que está cercado por corpos d'água, apresenta uma porcentagem elevada de domicílios em risco (37,72%), refletindo a vulnerabilidade da população local. Por outro lado, Nova Olinda e Serra Grande destacam-se com um excelente desempenho nesse indicador (0,00%), indicando a ausência de domicílios em áreas de risco, possivelmente devido a um planejamento urbano mais eficiente e à localização distante de corpos d'água. Essa análise reforça a importância de estratégias de gestão de riscos e planejamento territorial para reduzir a exposição da população a eventos extremos.

Nos demais municípios, até 10% dos domicílios estão em situação de risco. Essa condição está fortemente associada à falta de instituições de gestão de risco e à ausência de planejamento por meio de legislações específicas para drenagem e manejo de águas pluviais. Apenas o município de Cabaceiras possui um Plano Diretor que inclui diretrizes para a área de drenagem de águas pluviais. Além disso, metade dos municípios conta com uma Defesa Civil Municipal, o que ainda é insuficiente para garantir uma gestão eficiente de riscos e a proteção adequada da população. Esses dados destacam a necessidade urgente de políticas públicas e investimentos em planejamento urbano e gestão de riscos para reduzir a vulnerabilidade das comunidades a eventos extremos.

A Figura 8 apresenta os valores finais dos índices para cada município, posicionando-os na escala de classificação definida na Tabela 8. Já a Figura 9 exhibe a contribuição dada por cada indicador em cada um dos municípios selecionados, assim como a máxima contribuição possível, baseando-se nos pesos de cada critério. Essa abordagem permite uma visualização clara e imediata do desempenho de cada localidade, facilitando a identificação de municípios que demandam intervenções prioritárias e aqueles que servem como exemplos de boas práticas.

Os valores obtidos para o IDDAP-PB nos municípios selecionados variaram entre 0,44 e 0,70. A maioria dos municípios analisados foi classificada na categoria mediano. Serra Grande destacou-se com o melhor índice de desempenho (0,70), próximo ao limite entre as classes bom e excelente. Por outro lado, Natuba apresentou o pior desempenho (0,44), próximo ao limite entre as classes ruim e mediano. Essa situação ressalta a necessidade de investimentos e melhorias no planejamento e na infraestrutura para elevar o desempenho desses sistemas e reduzir a vulnerabilidade das populações locais a eventos extremos.

O baixo desempenho observado no município de Natuba decorre, predominantemente, da elevada ocorrência de eventos extremos nos últimos anos, aliada ao expressivo número de pontos críticos de alagamento identificados pelos técnicos locais. Soma-se a esse contexto a ausência de uma política estruturada de gestão de riscos, evidenciada pela inexistência de instituições municipais voltadas a essa finalidade. Além disso, a escassez de áreas verdes e a limitada abrangência do sistema de drenagem urbana reduzem a capacidade de escoamento e a mitigação dos impactos pluviais, refletindo negativamente no valor final do índice.

O município de Serra Grande, embora tenha apresentado o melhor desempenho entre os analisados, insere-se em um contexto urbano e físico bastante particular. Com a menor área urbana do conjunto estudado e relevo acentuado — apresentando declividade média de 10,90% —, o município dispõe de um sistema de

drenagem do tipo separador, composto por apenas quatro bocas de lobo conectadas diretamente a seus exutórios, situados nas margens da zona urbana. A ausência de galerias subterrâneas revela uma estrutura simplificada, cuja eficiência depende fortemente das condições naturais do terreno, que favorecem o escoamento superficial das águas pluviais. Esse relevo contribui para minimizar a ocorrência de alagamentos, compensando parcialmente as limitações estruturais e institucionais, como a inexistência de um órgão municipal de gestão de riscos e de legislação específica voltada à drenagem. Assim, o bom desempenho do município reflete, em grande medida, as vantagens topográficas locais, mais do que a adoção de práticas consolidadas de planejamento e gestão.

A análise comparativa entre Natuba e Serra Grande evidencia o papel determinante das variáveis que compõem o índice proposto. Verifica-se que os indicadores estruturais e físicos — como taxa de cobertura de pavimentação e meio-fio, presença de bocas de lobo e compatibilização das curvas verticais — exercem forte influência sobre o desempenho hidráulico dos sistemas. Em Natuba, a insuficiência desses elementos, associada à alta densidade de pontos críticos, ocorrência recorrente de alagamentos e impermeabilização acentuada do solo, resultou em maior vulnerabilidade urbana. Já em Serra Grande, apesar da baixa densidade de dispositivos de drenagem e da ausência de galerias subterrâneas, o relevo com maior declividade favorece o escoamento superficial, atenuando o impacto negativo dessas carências.

Entre as variáveis de caráter institucional, a inexistência de legislação específica e de instituições de gestão de risco afetou ambos os municípios, revelando a fragilidade da governança local na área de drenagem urbana. Assim, o contraste entre os dois municípios reforça que o desempenho satisfatório pode resultar tanto de fatores estruturais e de gestão quanto, em alguns casos, de condicionantes naturais favoráveis, como o relevo, capazes de mitigar parcialmente as deficiências do sistema de drenagem.

Dessa forma, os resultados indicam que a priorização de ações voltadas à melhoria da infraestrutura de drenagem — especialmente a ampliação e manutenção de dispositivos de captação e o controle da impermeabilização do solo — deve ser acompanhada do fortalecimento institucional e técnico, por meio da padronização de normas, da integração de dados de manutenção e da criação de estruturas municipais de gestão de risco. Essa abordagem integrada é coerente com as recomendações de Macedo et al. (2018), que ressaltam a necessidade de sistematização das informações de manutenção urbana, e de Baum e Goldenfum (2021), que defendem a padronização normativa e o estabelecimento de parâmetros mínimos para orientar políticas públicas e investimentos no setor.

Tabela 8 – Indicadores normalizados em uma escala de 0 a 1.

Indicadores	Município							
	Areia	Cabaceiras	Natuba	Nova Olinda	São Bento	São José de Piranhas	São José dos Ramos	Serra Grande
Ruas com Pavimentação e Meio-Fio (%)	0,889	0,833	0,8	0,8	0,893	0,55	0,8	0,471
Ruas com bocas de lobo (%)	0,167	0,014	0,188	0,046	0,126	0,005	0,319	0,062
Compatibilização de sarjetas em cruzamentos	0	1	0,5	1	1	0,5	1	1
Taxa de leitos naturais canalizados (%)	0,117	0,138	0,148	1	0,177	0,022	0,519	1
Houve manutenção do sistema?	0	0	1	0	0	0	1	1
Cobertura do serviço de coleta de lixo (%)	1	1	1	0,999	1	1	1	1
Taxa de arborização urbana (m ² /hab.)	1	1	0	0	0,564	0	0	1
Taxa de impermeabilização do solo (%)	0,917	0,651	0,624	0,517	0,656	0,642	0,586	0,588
Internações relacionadas à drenagem inadequada (int./100 mil hab.)	0,794	0,815	0,939	0,478	0	0	0,845	0,789
Alagamentos e enxurradas, nos últimos 20 anos (unid.)	0,5	0,25	0,25	0,5	0,5	1	0	1
Domicílios em situação de risco (%)	0,983	0,935	0,959	1	0,995	0,98	0,917	1
Densidade de pontos críticos de alagamento (unid./km)	0,63	0,67	0	0,29	0,905	0,62	0,685	1
Existência de instituições de gestão de risco	1	1	0	1	0	1	0	0
Existência de legislação específica para drenagem	0	1	0	0	0	0	0	0

Fonte: Autores (2025).

Apesar de refletir uma maior impermeabilização do solo e interferência humana no meio, a variação populacional dentro do grupo de municípios de pequeno porte não influenciou significativamente os resultados do índice. Municípios de maior porte, como Areia, Natuba, São Bento e São José de Piranhas, tiveram índices semelhantes aos de municípios menores, como Nova Olinda e São José dos Ramos. Além disso, o desempenho de municípios com sistemas de drenagem unitário e separador foi similar, indicando que o tipo de sistema não foi um fator determinante para o resultado do índice.

Apesar dos avanços obtidos, o estudo apresenta algumas limitações inerentes à aplicação do índice proposto. A principal refere-se à disponibilidade e à qualidade dos dados municipais, muitas vezes incompletos ou desatualizados, o que pode afetar a precisão dos resultados. Além disso, parte das variáveis utilizadas possui caráter qualitativo, o que pode introduzir certa subjetividade na avaliação. Também se destaca a limitação

espacial do estudo, restrito a um conjunto reduzido de municípios, o que recomenda cautela na generalização dos achados. Ainda assim, essas limitações não comprometem a validade dos resultados, mas indicam caminhos para o aprimoramento metodológico em pesquisas futuras.

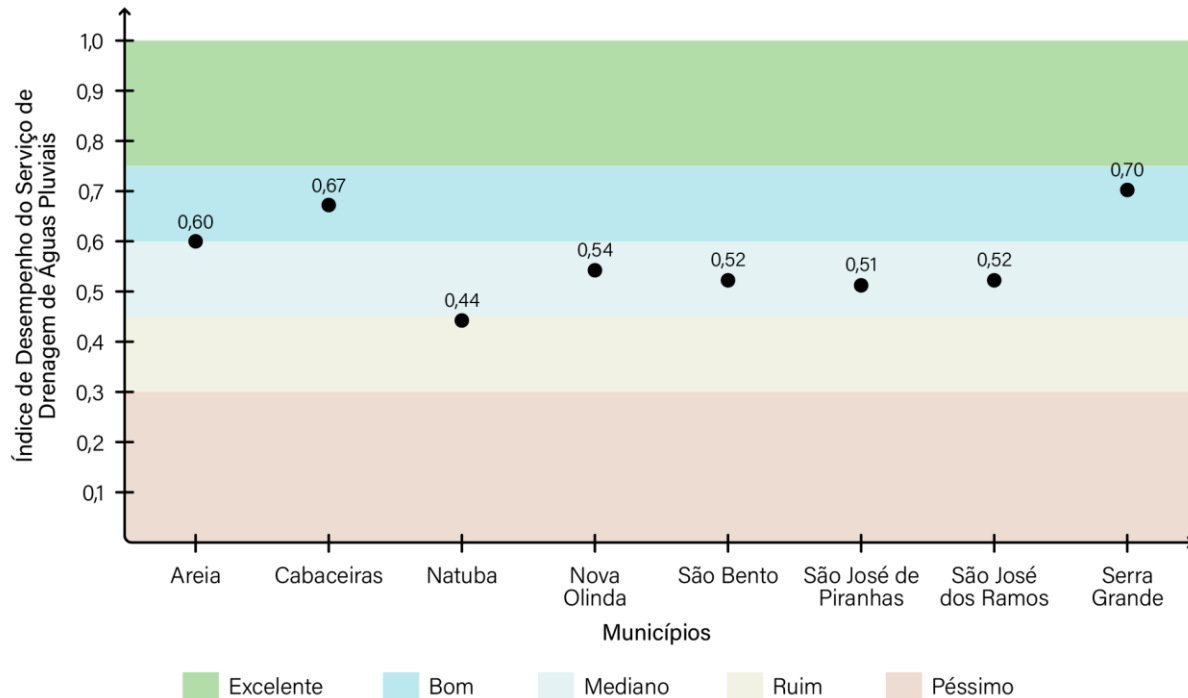


Figura 8 – Resultados do IDDA-PB e classificação dos municípios estudados. Fonte: Autores (2025).



Figura 9 – Contribuição por indicador ao índice dos municípios selecionados. Fonte: Autores (2025).

Análise de robustez do índice

Quanto à análise de robustez, os limites inferiores e superiores entre os quais podem ocorrer alterações dos pesos dos indicadores sem comprometer a classificação nominal, bem como o ranking dos municípios, foram listados na Tabela 9. Quanto maior o intervalo entre os limites, maior a robustez do modelo para aquele objetivo. Observa-se que os intervalos de estabilidade da classificação nominal dos municípios são bem maiores, o que indica uma maior robustez do método para esse objetivo. Em média, os indicadores podem variar entre 0,00 e 0,20, e ainda assim manter uma classificação constante. Por outro lado, indicadores com intervalos de estabilidade menores, como o de manutenção do sistema (0,00–0,14) e existência de instituições de gestão de risco (0,00–0,16), mostraram-se mais sensíveis às variações nos pesos. Esse comportamento sugere que a alteração de sua importância relativa impacta de forma significativa o resultado final, evidenciando a forte influência das condições operacionais e institucionais no desempenho dos sistemas de drenagem.

Fora dos intervalos apresentados para cada indicador, os municípios chegam a mudar de classificação por mais de três vezes.

Tabela 9 – Limites inferiores e superiores do intervalo de estabilidade.

Indicadores	Classificação		Ranking	
	Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior
Ruas com Pavimentação e Meio-Fio	0,00	0,29	0,05	0,09
Ruas com bocas de lobo	0,00	0,17	0,06	0,13
Compatibilização de sarjetas em cruzamentos	0,00	0,16	0,05	0,10
Taxa de leitos naturais canalizados	0,00	0,17	0,05	0,11
Houve manutenção do sistema?	0,00	0,14	0,05	0,06
Cobertura do serviço de coleta de lixo	0,00	0,18	0,00	0,95
Taxa de arborização urbana	0,00	0,17	0,05	0,05
Taxa de impermeabilização do solo	0,00	0,30	0,00	0,15
Internações relacionadas à drenagem inadequada	0,00	0,18	0,06	0,10
Alagamentos e enxurradas, nos últimos 20 anos	0,00	0,22	0,07	0,10
Domicílios em situação de risco	0,00	0,21	0,00	0,13
Densidade de pontos críticos de alagamento	0,00	0,23	0,08	0,10
Existência de instituições de gestão de risco	0,00	0,16	0,05	0,07
Existência de legislação específica para drenagem	0,00	0,18	0,02	0,10

Fonte: Autores (2025).

Para a realização de comparação entre os sistemas de drenagem dos municípios, o modelo se mostrou menos robusto. Os valores calculados indicam que, em média, os pesos podem variar entre 0,05 e 0,11 sem provocar alterações no *ranking* final dos municípios. Na aplicação com os estudos de caso, alguns municípios chegaram a cair cinco posições no *ranking*. Apenas o indicador de “cobertura de coleta de lixo” apresentou um intervalo maior, isso justifica-se pela constância de seus valores.

De forma geral, os resultados demonstram que o índice proposto apresenta robustez satisfatória para a classificação de desempenho, embora exija cautela na interpretação de rankings comparativos. Para aplicações práticas, recomenda-se atenção especial aos indicadores mais sensíveis — especialmente os relacionados à manutenção do sistema e à gestão institucional —, pois pequenas melhorias nesses aspectos podem produzir ganhos expressivos no desempenho global.

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho destacou a importância dos índices e indicadores como ferramentas fundamentais para a avaliação de sistemas urbanos e para o apoio à tomada de decisões e à gestão, atuando como elementos que atenuam a heterogeneidade enfrentada pelos municípios. O Índice de Desempenho do Serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais dos Municípios de Pequeno Porte da Paraíba (IDDAP-PB) foi construído com base em variáveis provenientes de bancos de dados consolidados e confiáveis, permitindo que seus indicadores sejam utilizados como referência para comparar e avaliar a qualidade dos serviços prestados. Além disso, foram desenvolvidos cinco indicadores específicos, complementando a avaliação com informações adaptadas às realidades locais. Essa combinação de dados secundários e indicadores criados proporciona uma análise mais abrangente e precisa, refletindo as particularidades de cada município e contribuindo para uma gestão mais eficiente e contextualizada.

Os resultados da aplicação de questionários a especialistas revelaram que os indicadores de gestão de riscos foram considerados os mais importantes, seguidos pela identificação do sistema existente e pela urbanização. Os indicadores que mais contribuíram para o índice foram a parcela de domicílios em situação de risco e a taxa de impermeabilização do solo. Além disso, observou-se uma tendência dos especialistas a valorizar abordagens sustentáveis em detrimento de soluções convencionais.

Ao analisar detalhadamente a composição do índice para os estudos de caso, percebeu-se que os aspectos positivos e negativos variam conforme a realidade de cada município. Na maioria dos casos, os principais problemas estão relacionados à infraestrutura precária de drenagem e a deficiências na gestão de riscos. A falta de planejamento e a ausência de legislação específica para drenagem de águas pluviais também foram fatores que influenciaram significativamente os resultados.

Ressalta-se que, para a aplicação do IDDAP-PB em outros contextos, a periodicidade dos dados é essencial. A metodologia utilizada e as informações obtidas podem contribuir para uma gestão mais eficiente dos serviços de drenagem urbana, orientando políticas públicas e investimentos que reduzam os danos

causados por eventos extremos e diminuam a vulnerabilidade da população, subsidiando assim o processo de tomada de decisões.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio técnico e financeiro da Superintendência Estadual da Fundação Nacional de Saúde (Funasa) da Paraíba, a partir do Termo de Execução Descentralizada nº 03/2021, parceria entre a Funasa e a Universidade Federal de Campina Grande, intitulado “Capacitação técnica e elaboração da minuta dos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB) de 50 municípios selecionados no estado da Paraíba”.

V. REFERÊNCIAS

- AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Shapefiles. 2020. Disponível em: <<http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>>. Acesso em: 29 ago. 2024.
- AKAISHI, A. G. Desafios do planejamento urbano-habitacional em pequenos municípios brasileiros. Risco: Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo, v. 14, p. 41-50. 2012. <https://doi.org/10.11606/issn.1984-4506.v0i14p41-50>
- ARAÚJO, D. C. Metodologia para apoio à decisão na gestão das águas pluviais urbanas combinando métodos multicriterial e multidecisor. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016. Recife, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/18668/1/Tese_Danniel_Araujo_Vers%C3%A3o_Final_CORRIGIDA_19_12.pdf>. Acesso em: 23 set. 2025.
- BANSAL, N.; MUKHERJEE, M.; GAIROLA, A. Evaluating urban flood hazard index (UFHI) of Dehradun city using GIS and multi-criteria decision analysis. Modeling Earth Systems and Environment, v. 8, p. 4051-4064, 2022. <https://doi.org/10.1007/s40808-021-01348-5>.
- BAUM, C. A.; GOLDENFUM, J. A. Indicadores e índices para o gerenciamento de águas pluviais urbanas no Brasil: situação atual e oportunidades de evolução. Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 18, n. 21, p. 1-16, 2021. <https://doi.org/10.21168/rega.v18e21>.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Mapeamento de áreas urbanas. 2015. Disponível em: <http://geoinfo.cnpm.embrapa.br/layers/geonode%3Aareas_urbanas_br_15>. Acesso em: 29 ago. 2024.
- FERREIRA, Y. B. C. Proposição de um Índice de Vulnerabilidade Humana à Insuficiência de Saneamento Básico em municípios de pequeno porte: a experiência do estado da Paraíba. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2020.
- GAO, M.; WANG, Z.; YANG, H. Review of Urban Flood Resilience: Insights from Scientometric and Systematic Analysis. Environmental Research and Public Health, v. 19, n. 14, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148837>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Divisão Regional do Brasil em Regiões Geográficas Imediatas e Regiões Geográficas Intermediárias. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/regioes_geograficas/>. Acesso em: 29 ago. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Geociências: Informações ambientais. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>>. Acesso em: 29 ago. 2024.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Resultados do Censo Demográfico. 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>>. Acesso em: 29 ago. 2024.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Topodata. 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>>. Acesso em: 29 ago. 2024.

KOURTIS, T. M.; TSIHRINTZIS, V. A. Adaptation of urban drainage networks to climate change: A review. *Science of The Total Environment*, v. 771, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145431>.

KURIQI, A.; HYSA, A. Multidimensional Aspects of Floods: Nature-Based Mitigation Measures from Basin to River Reach Scale. In: FERREIRA, C. S. S.; KALANTARI, Z.; HARTMANN, T.; PEREIRA, P. *Nature-Based Solutions for Flood Mitigation. The Handbook of Environmental Chemistry*. Springer, v. 107, p. 11-33. https://doi.org/10.1007/698_2021_773.

LACERDA, M. C. Proposta de um índice para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem de águas pluviais em cidades de pequeno porte do Estado da Paraíba. 2021. 101 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Paraíba.

LI, Y.; WANG, P.; LOU, Y.; CHEN, C.; SHEN, C.; HU, T. Assessing urban drainage pressure and impacts of future climate change based on shared socioeconomic pathways. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, v. 53, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101760>.

LOPES, W. S.; RODRIGUES, A. C. L.; FEITOSA, P. H. C.; COURA, M. A.; OLIVEIRA, R.; BARBOSA, D. L. Determinação de um índice de desempenho do serviço de esgotamento sanitário. Estudo de caso: cidade de Campina Grande, Paraíba. 2016. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 1, p. 1-10, 2016. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p1-10>.

LUO, K.; ZHANG, X. Increasing urban flood risk in China over recent 40 years induced by LUCCL. *Landscape and Urban Planning*, 219, p. 104-317, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2021.104317>.

MACEDO, F. F.; VIEIRA, F. H.; FURIGO, R. F. R. Indicadores de manutenção do sistema de drenagem urbana em Mogi Mirim. *Boletim do Saneamento*, 30 set. 2025. Disponível em: <https://boletimdosaneamento.com.br/indicadores-manutencao-sistema-de-drenagem-urbana-mogi-mirim/>. Acesso em: 6 out. 2025.

MAPBIOMAS. Áreas urbanizadas no Brasil: 1985-2022. MapBiomas, 2023. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2023/10/FACT_Areas-Urbanas-no-Brasil_31.10_v2.pdf>. Acesso em: 24 set. 2025.

MENDONÇA, E. C.; SOUZA, M. A. A. Uma metodologia multiobjetivo e multicritério para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana. *Ingeniería del Agua*, v. 23, n. 2, 2019. <https://doi.org/10.4995/ia.2019.10214>

MORETTI, R. S.; CUNHA, P. E. V.; JUNIOR, G. T. M.; FILHO, A. F. T. Aspectos específicos do planejamento e da política pública de saneamento nos pequenos municípios. *Projectare*, v. 1, n. 11, p. 101-116, 2021.

NOVAES, C. A. F. O.; CORDEIRO NETTO, O. M. Desenvolvimento de metodologia para avaliação de desempenho de sistemas de drenagem urbana: aplicação ao caso da RIDE-DF e entorno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 12., 2017, Florianópolis. Anais... Florianópolis: ABRHidro, 2017.

OGATA, I. S. Desenvolvimento do índice de pobreza hídrica para a Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

OPENSTREETMAP. Base Cartográfica das Ruas. 2020. Disponível em: <<https://www.openstreetmap.org/>>. Acesso em: 29 ago. 2024.

PEREIRA, A. S.; BRANDALISE, N.; MELLO, L. C. Aplicação do método AHP na seleção de terrenos para edificações comerciais na cidade do Rio de Janeiro. Revista Eletrônica Sistema & Gestão, v. 11, n. 4, p. 410-422, 2016. <https://doi.org/10.20985/1980-5160.2016.v11n4.1092>

RODRIGUES, N. M.; RODRIGUES, C. E. F.; RODRIGUES, C. R. A falta de drenagem urbana nas cidades brasileiras. Research, Society and Development, v. 11, n. 6, 2022. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i6.29652>

SAATY, T. L. How to make a decision: The analytic hierarchy process. European Journal of Operational Research, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I).

SÃO PAULO. Prefeitura de São Paulo. Manual de Drenagem e Manejo de águas pluviais. Volume I. São Paulo, 2012. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/desenvolvimento_urbano/arquivos/manual-drenagem_v1.pdf>. Acesso em: 23 set. 2025.

SILVA, B. R.; PINHEIRO, H.; LOPES, D. D. Seleção de indicadores de sustentabilidade para avaliação do sistema de drenagem urbana. Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades, v. 1, n. 1, p. 30-44, 2013.

STEINER, L. Trabalho de Conclusão de Curso. Avaliação do sistema de drenagem pluvial urbana com aplicação do índice de fragilidade. Estudo de caso: microbacia do Rio Criciúma, SC. Criciúma, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unesc.net/bitstream/1/1356/1/Laura%20Steiner.pdf>>. Acesso em: 23 set. 2025.

SWAIN, K. C.; SINGHA, C.; NAYAK, L. Flood susceptibility mapping through the GIS-AHP technique using the cloud. International Journal of Geo-Information, v. 9, n. 12, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijgi9120720>.

TANG, Z.; WANG, P.; LI, Y.; WANG, B.; POPOVYCH, N.; HU, T. Contributions of climate change and urbanization to urban flood hazard changes in China's 293 major cities since 1980. Journal of Environmental Management, v. 353, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120113>

TONA, R. N.; ONIAS, T.; VILELA, A.; HERNANDEZ, C. T. Aplicação do método AHP para auxílio à tomada de decisão para gestores na escolha do tipo de embalagem no desenvolvimento de novas peças do setor automobilístico. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 14., 2017, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: AEDB, 2017.

VON SPERLING, T. L.; VON SPERLING, M. Proposição de um sistema de indicadores de desempenho para avaliação da qualidade dos serviços de esgotamento sanitário. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 18, n. 4, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000400003>

ZABIN, C. J.; JURGENS, L. J.; BIBLE, J. M.; PATTEN, M. V.; CHANG, A. L.; GROSHOLZ, E. D.; BOYER, K. E. Increasing the resilience of ecological restoration to extreme climatic events. Frontiers in Ecology and the Environment, v. 20, n. 5, 2022. <https://doi.org/10.1002/fee.2471>

Anexos

Anexo A – Questionário aplicado para definição dos pesos.

CONSULTA A ESPECIALISTAS PARA ELABORAÇÃO DE ÍNDICE DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS EM CIDADES DE PEQUENO PORTE DA PARAÍBA

AUTOR: MATEUS CLEMENTE DE LACERDA

ORIENTADORA: PROF.^a DRA. ANDRÉA CARLA LIMA RODRIGUES

CO-ORIENTADORA: MA. YUCIARA BARBOSA COSTA FERREIRA

O trabalho objetiva desenvolver um Índice de Desempenho do serviço de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas para municípios de pequeno porte do estado da Paraíba (IDDAP-PB) através da agregação ponderada de indicadores – dados primários e secundários – com seus respectivos pesos, definidos pelo método Analytic Hierarchy Process (AHP). De acordo com a metodologia definida, os indicadores selecionados devem ser validados e, posteriormente, a atribuição das intensidades de importância deve ser realizada por meio da aplicação de questionários a um conjunto de especialistas na área de estudo. Mediante as respostas é possível obter os pesos dos agrupamentos de critérios quanto ao objetivo geral e os pesos relativos dos critérios dentro de cada agrupamento.

O questionário é dividido em três partes: I.1) Informações pessoais do entrevistado; I.2) Validação dos indicadores; e I.3) Comparação par-a-par de importância.

QUESTIONÁRIO

I.1. INFORMAÇÕES PESSOAIS DO ENTREVISTADO

Preencha as informações pessoais presentes na Tabela 1. Os dados serão utilizados apenas para a análise estatística da amostra.

Tabela A.1 – Informações pessoais do especialista consultado.

ÁREA DE ATUAÇÃO	
GRAU ACADÊMICO	

I.2. VALIDAÇÃO DOS INDICADORES

Como forma de validar o conjunto de indicadores proposto, a Tabela 2 foi elaborada. Preencha-a com um X, classificando cada indicador em apenas uma das tipologias: muito relevante, relevante, pouco relevante e irrelevante.

Tabela A.2 – Validação dos indicadores quanto à sua relevância.

INDICADORES	IRRELEVANTE	POUCO RELEVANTE	RELEVANTE	MUITO RELEVANTE
Taxa de ruas com rede pluvial subterrânea				
Taxa de ruas com meio-fio				
Taxa de ruas com bocas de lobo				
Compatibilização de sarjetas em cruzamentos				
Taxa de leitos naturais canalizados				
Tipo de manutenção do sistema				
Cobertura do serviço de coleta de lixo				
Taxa de pavimentação de ruas				
Taxa de arborização urbana				
Taxa de impermeabilização do solo				
Internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada				
Despesa per capita com serviços de drenagem				
Precipitação anual média				
Histórico de alagamentos e enxurradas				

População impactada por eventos hidrológicos				
Área urbana considerada de risco				
Parcela de domicílios em situação de risco				
Vias de acesso à cidade comprometidas				
Densidade de pontos críticos de alagamento				
Existência de instituições de gestão de risco				
Existência de sistemas de alerta				
Existência de plano diretor de drenagem				

I.3. COMPARAÇÃO PAR-A-PAR DE IMPORTÂNCIA

Para que se obtenha a importância relativa entre os critérios, esses serão comparados par a par através da atribuição de intensidades de importância em uma escala de 1 a 9 (Quadro 1), como proposto por Saaty (1990). Caso o atributo tenha menor importância que o seu par, o valor deve ser o inverso do exposto no Quadro 1.

Quadro A.1 – Escala para julgamentos comparativos.

Intensidade de importância	Definição	Explicação
1	Mesma importância	Os dois atributos contribuem igualmente para o objetivo.
3	Importância fraca de um sobre outro	A experiência e o julgamento favorecem levemente um atributo em relação ao outro.
5	Importância forte ou essencial	A experiência e o julgamento favorecem fortemente um atributo em relação ao outro.
7	Importância muito forte ou demonstrada	Um atributo é fortemente favorecido em relação ao outro; seu predomínio de importância é demonstrado na prática.
9	Importância absoluta	A evidência favorece um atributo em relação ao outro com o mais alto grau de certeza.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os valores adjacentes	Quando se procura uma condição de favorecimento entre duas definições.

Fonte: Adaptado de Saaty (1990)

A Tabela 4 deve ser preenchida de acordo com o exemplo abaixo, comparando sempre o atributo da linha com o da coluna.

Tabela A.3 – Exemplo de preenchimento para a Tabela 4.

	A	B	C
A	1	-	-
B	3	1	-
C	5	1/7	1

No exemplo acima, o atributo B possui importância fraca sobre o atributo A, sendo favorecido levemente. No caso do atributo C, ele possui importância forte sobre o atributo A (intensidade 5), mas quando comparado ao atributo B possui um valor inverso de 1/7. Nesse caso, B é quem possui uma importância muito forte (intensidade 7) sobre o atributo C, e não o contrário.

Resumindo, os valores inteiros devem ser utilizados quando o atributo da linha tem maior importância que o da coluna. Já os valores inversos devem ser utilizados quando o atributo da coluna tem maior importância que o da linha.

Tabela A.4 – Comparação par a par de importância dos indicadores (Parte 1 de 3).

[illegible]

Tabela A.4 – Comparação par a par de importância dos indicadores (Parte 2 de 3).

Qual a intensidade de importância do atributo A quando comparado ao atributo B?		ATRIBUTOS																						
Valores inteiros: A tem maior importância que B. Valores inversos: B tem maior importância que A.		Taxa de ruas com rede pluvial subterrânea	Taxa de ruas com meio-fio	Taxa de ruas com bocas de lobo	Compatibilização de sarjetas em cruzamentos	Taxa de leitos naturais canalizados	Tipo de manutenção do sistema	Cobertura do serviço de coleta de lixo	Taxa de pavimentação de ruas	Taxa de arborização urbana	Taxa de impermeabilização do solo	Internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada	Despesa per capita com serviços de drenagem	Precipitação anual média	Histórico de alagamentos e enxurradas	População impactada por eventos hidrológicos	Area urbana considerada de risco	Parcela de domicílios em situação de risco	Vias de acesso à cidade comprometidas	Densidade de pontos críticos de alagamento	Existência de instituições de gestão de risco	Existência de sistemas de alerta	Existência de plano diretor de	
ATRIBUTO A																								
Taxa de impermeabilização do solo											1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada												1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Despesa per capita com serviços de drenagem													1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Precipitação anual média														1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Histórico de alagamentos e enxurradas															1	-	-	-	-	-	-	-	-	
População impactada por eventos hidrológicos																1	-	-	-	-	-	-	-	
Area urbana considerada de risco																	1	-	-	-	-	-	-	
Parcela de domicílios em situação de risco																		1	-	-	-	-	-	
Vias de acesso à cidade comprometidas																			1	-	-	-	-	

Tabela A.4 – Comparação par a par de importância dos indicadores (Parte 3 de 3).

ATRIBUTO A		ATRIBUTO B	
Qual a intensidade de importância do atributo A quando comparado ao atributo B?		Taxa de ruas com rede pluvial subterrânea	Taxa de ruas com meio-fio
Valores inteiros: A tem maior importância que B. Valores inversos: B tem maior importância que A.		Taxa de ruas com bocas de lobo	Compatibilização de sarjetas em cruzamentos
		Taxa de leitos naturais canalizados	Tipo de manutenção do sistema
		Cobertura do serviço de coleta de lixo	Taxa de pavimentação de ruas
		Taxa de arborização urbana	Taxa de impermeabilização do solo
		Internações por doenças relacionadas à drenagem pluvial inadequada	Despesa per capita com serviços de drenagem
		Precipitação anual média	Histórico de alagamentos e enxurradas
		População impactada por eventos hidrológicos	Área urbana considerada de risco
		Parcela de domicílios em situação de risco	Vias de acesso à cidade comprometidas
Densidade de pontos críticos de alagamento		Densidade de pontos críticos de alagamento	Existência de instituições de gestão de risco
Existência de instituições de gestão de risco			
Existência de sistemas de alerta			
Existência de plano diretor de drenagem			