

DESENVOLVIMENTO DO ÍNDICE DE DESEMPENHO DO SANEAMENTO AMBIENTAL (INSA) PARA AVALIAR OS SERVIÇOS DE SANEAMENTO DOS MUNICÍPIOS DE PERNAMBUCO, NORDESTE DO BRASIL

Diogo Paz

André Martins

José Anderson França

Eduardo Lins

Saulo Bezerra

Instituto Federal de Pernambuco

RESUMO

Há uma escassez de fontes de dados confiáveis e sistematizados que analisem de forma integrada os quatro eixos do saneamento ambiental, o que constitui um dos principais obstáculos aos estudos neste setor. Esta pesquisa tem como objetivo desenvolver o Índice de Desempenho do Saneamento Ambiental (INSA) para avaliar o desempenho dos municípios do estado de Pernambuco em relação aos sistemas de saneamento, com base nos indicadores do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Foram obtidos dados relacionados aos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, gestão de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas dos 184 municípios pernambucanos. Foi analisada a evolução dos indicadores entre os anos de 2010 e 2020 no estado de Pernambuco, sendo definido scores e valores de referência baseados nos quartis da amostra de dados. Para validação, a metodologia proposta foi aplicada para gerar um ranking de desempenho da gestão de sistemas de saneamento dos municípios do estado de Pernambuco a partir dos dados do SNIS, ano base 2020. O INSA obtido para o estado de Pernambuco foi de 0,248. A partir desta pesquisa, propõe-se que o INSA seja validado para outros estados brasileiros, para comparação e composição de índices regionalizados.

Palavras-chave: indicador de desempenho; saneamento; sustentabilidade

ABSTRACT

This research aims to develop the Environmental Sanitation Performance Index (INSA) to evaluate the performance of municipalities in the state of Pernambuco regarding sanitation systems, based on indicators from the National Sanitation Information System (SNIS). Data related to water supply services, wastewater management, solid waste management, and urban stormwater drainage were collected from the 184 municipalities in Pernambuco. The evolution of these indicators between 2010 and 2020 in the state of Pernambuco was analyzed. Out of the 156 indicators available in the information system, 34 were selected, with scores and reference values defined based on the quartiles of the data sample. For validation, the proposed methodology was applied to generate a performance ranking for the management of sanitation systems in Pernambuco municipalities using SNIS data for the base year 2020. The INSA obtained for the state of Pernambuco was 0.248. The municipalities of Caruaru and Recife achieved the highest scores. On the other hand, 159 municipalities demonstrated low performance. Comparing the municipalities' scores by sub-index, it was observed that the water supply system is the only one that reaches an average performance level. The other systems showed low performance, with wastewater management standing out with an average of 0.081. Based on this research, it is proposed that INSA be validated for other Brazilian states to allow comparison and the development of regionalized indices.

Key words: performance indicators; sanitations; sustainability

INTRODUÇÃO

Afalta de saneamento básico ou a ineficiência da prestação dos serviços contribui fortemente para a precariedade da saúde pública de um município (FERREIRA *et al.*, 2016; ATHAYDES *et al.*, 2020). É comum, nos países emergentes, a deficiência de infraestrutura de saneamento ambiental, bem como da cobertura dos serviços. Além disso, observa-se um investimento limitado para o setor, ainda que seja de conhecimento amplo os impactos positivos à saúde pública (SILVA *et al.*, 2008; VENTURA; ALBUQUERQUE, 2020; VALONES *et al.*, 2022).

Com a implementação da Política Nacional de Saneamento, Lei nº 11.445/2007, e da Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei 12.305/2010, foram apontadas diretrizes para a gestão dos serviços para a englobar o conjunto das atividades de planejamento, prestação dos serviços, regulação e fiscalização, acompanhadas por meio da participação e controle social (PEREIRA; HELLER, 2015).

Com a atualização do novo marco legal do saneamento, por meio da Lei nº 14.026/2020, há uma maior cobrança não apenas pela universalização dos serviços, mas também pela efetiva prestação, que deve ser com qualidade e economicamente viável. Conforme apontam Pertel *et al.* (2016), a operação e manutenção dos sistemas de água e esgoto são, geralmente, responsabilidade das concessionárias, enquanto os serviços de gestão de resíduos sólidos urbanos e manejo de águas pluviais são realizados, na maioria dos casos, pelos municípios.

Como forma de mensurar o desempenho do saneamento ambiental em um município, é comum o emprego de indicadores ou índices (VALONES *et al.*, 2022). O indicador é uma medida que representa uma característica ou fenômeno, relacionando duas ou mais variáveis, importante para avaliar o desempenho de processos em um dado tempo. Já o índice busca agregar dois ou mais indicadores simples, e sintetizar por meio de um valor, de modo a identificar a situação atual de um processo ou a evolução de uma quantidade em relação a uma referência (SOBRAL *et al.*, 2011).

No Brasil, a principal fonte de dados acerca dos indicadores de saneamento é o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), que é o instrumento de conhecimento dos serviços de saneamento básico do Brasil, coordenado pela Secretaria Nacional do Saneamento do Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR). O sistema conta com um robusto conjunto de dados que permite avaliar a evolução dos serviços de saneamento no país (MDR, 2021). Anualmente são publicados diagnósticos dos serviços de saneamento básico, a partir de dados de caráter operacional, gerencial, financeiro e de qualidade, fornecidos pelos prestados dos serviços.

Apesar da importância do SNIS para realização de um diagnóstico do saneamento ambiental, a ferramenta não calcula uma pontuação final (score) dos municípios, de modo que não é possível compará-los e ranqueá-los. O ranqueamento facilita a identificação das cidades que se destacam, cujas práticas podem balizar ações em outros municípios com menor desempenho. Como forma de reduzir essa ausência, o Instituto Trata Brasil, Organização da Sociedade Civil de Interesse Público (OSCIP), em parceria com a empresa GO associados, promove o ranqueamento do

saneamento, desde 2009, dos 100 maiores municípios do Brasil. Porém, são utilizados apenas 12 indicadores, relacionados à abastecimento de água e esgotamento sanitário.

De forma semelhante aos setores de água e esgoto, há diversas pesquisas relacionadas à proposição de indicadores e índices de avaliação de sistemas de gestão de resíduos sólidos (SANTIAGO e DIAS, 2012; PEREIRA et al., 2018; SOUSA e SERRA, 2019), entretanto, os métodos apresentados muitas vezes são de difícil obtenção e aplicação por parte dos órgãos públicos.

Mais recentemente, em 2017, foi lançado o Ranking da Universalização, da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária (ABES), que tem como objetivo identificar a proximidade dos municípios brasileiros da universalização do saneamento. Por outro lado, este ranking utiliza somente cinco indicadores, relacionados a três dos quatro eixos do saneamento: abastecimento de água, esgotamento sanitário e gestão de resíduos sólidos.

Um método consolidado na literatura é o Índice de Salubridade Ambiental (ISA), criado em 1999 pelo Conselho Estadual de Saneamento (CONESAN, 1999) do estado de São Paulo, que foi adotado com adaptações em mais de 60 publicações para avaliação da saúde ambiental em diferentes localidades, conforme levantamento realizado por Teixeira et al. (2018). Exemplificando, o ISA foi adotado nos municípios de Mossoró – Rio Grande do Norte (PEIXOTO et al., 2018) e Caruaru – PE (DUARTE et al., 2021). Porém, é importante ressaltar que, em muitos casos, tem-se dificuldade em obter todas as informações necessárias para a determinação do índice. Conforme apontam Pereira e Marques (2022), há uma escassez de fontes de dados confiáveis e sistematizados que analisem de forma integrada os quatro eixos do saneamento ambiental, o que constitui um dos principais obstáculos aos estudos neste setor, visto que dificulta a avaliação do desempenho dos serviços de saneamento no país. Neste sentido, é suma importância a proposição de uma metodologia que utilize indicadores já consolidados e de fácil acesso (MUNDIM e VOLCHAN JUNIOR, 2020) para avaliação do desempenho e ranqueamento dos municípios em relação à gestão dos sistemas de saneamento.

Portanto, esta pesquisa tem como objetivo construir o Índice de Desempenho do Saneamento Ambiental (INSA) e sua aplicação para avaliar o desempenho dos serviços de saneamento básico dos municípios do estado de Pernambuco.

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

O estado de Pernambuco, localizado no Nordeste do Brasil, possui uma área de aproximadamente 98.068 km², e divide-se politicamente em 184 municípios (Figura 1) e um distrito estadual, o Arquipélago Fernando de Noronha, sendo a capital a cidade do Recife. A população do estado é a sétima maior do país, com 9.058.155 habitantes, com uma densidade demográfica de 92,37 hab/km² e taxa de urbanização de 80,2% (IBGE, 2022). O rendimento nominal mensal domiciliar per capita é de R\$ 1.010,00.

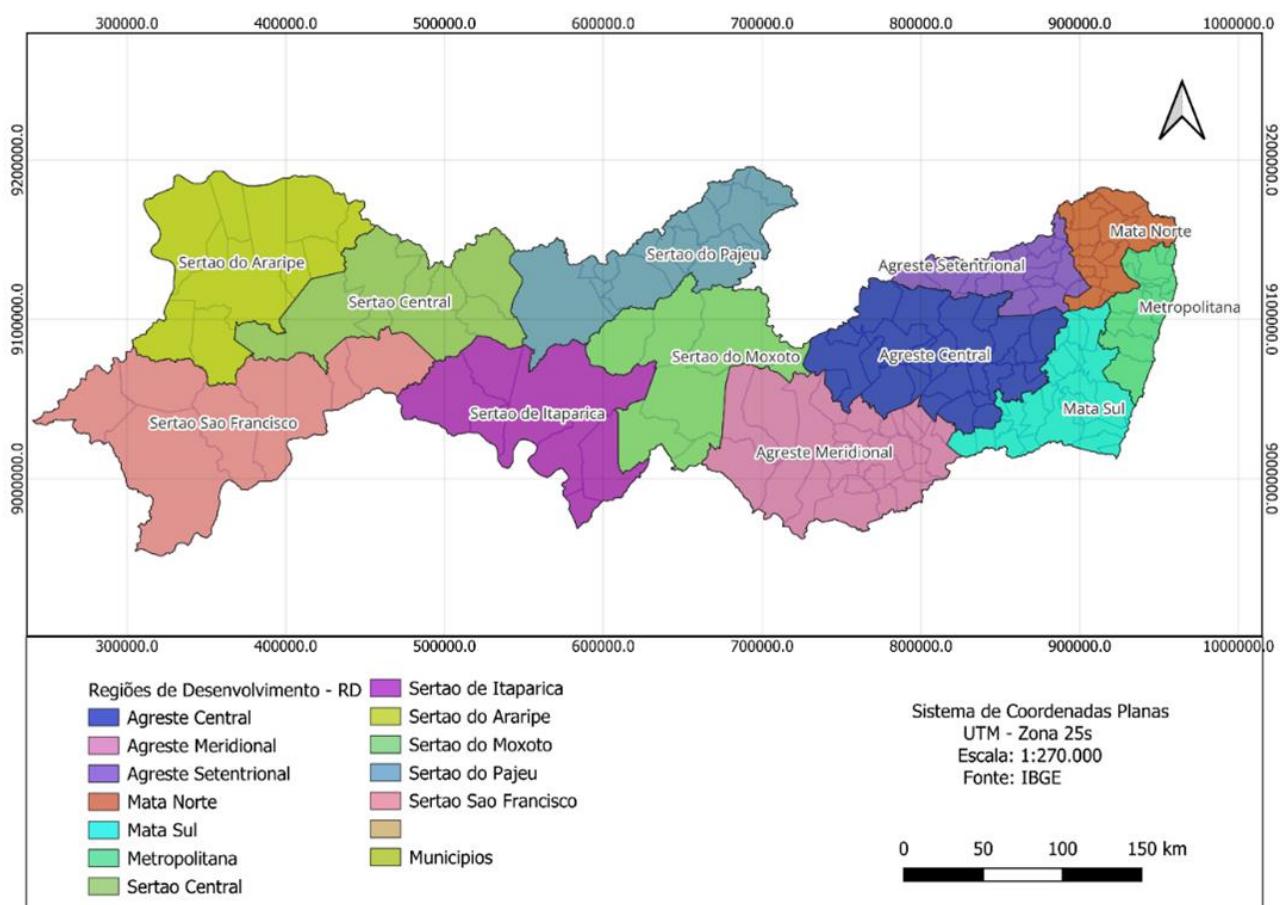


Figura 1 – Regiões de Desenvolvimento e delimitação territorial dos municípios do estado de Pernambuco

Pernambuco está dividido em 12 Regiões de Desenvolvimento (RDs), organizado de acordo com as características ambientais, socioeconômicas, culturais e geográficas, sendo uma Região Metropolitana (do Recife – RMR), duas regiões da Zona da Mata (Mata Norte e Mata Sul), três regiões do Agreste (Central, Meridional e Setentrional), e seis regiões do Sertão (Moxotó, Pajeú, Itaparica, Central, Araripe e São Francisco).

Coleta dos indicadores de saneamento do SNIS

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram obtidos no SNIS dados relacionados aos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, gestão de resíduos sólidos e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas fornecidos pelos 184 municípios pernambucanos. A evolução dos indicadores foi analisada no período de 2010 e 2020 para verificação dos dados que possuem uma série histórica consistente, sendo um dos critérios para escolha dos indicadores utilizados.

O SNIS calcula atualmente 156 indicadores, sendo 84 indicadores de água e esgoto, 47 indicadores de resíduos sólidos, e 25 indicadores de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas,

que são índices calculados por meio do cruzamento de pelo menos duas informações primárias fornecidas ao SNIS pelos prestadores de serviços (Figura 2).

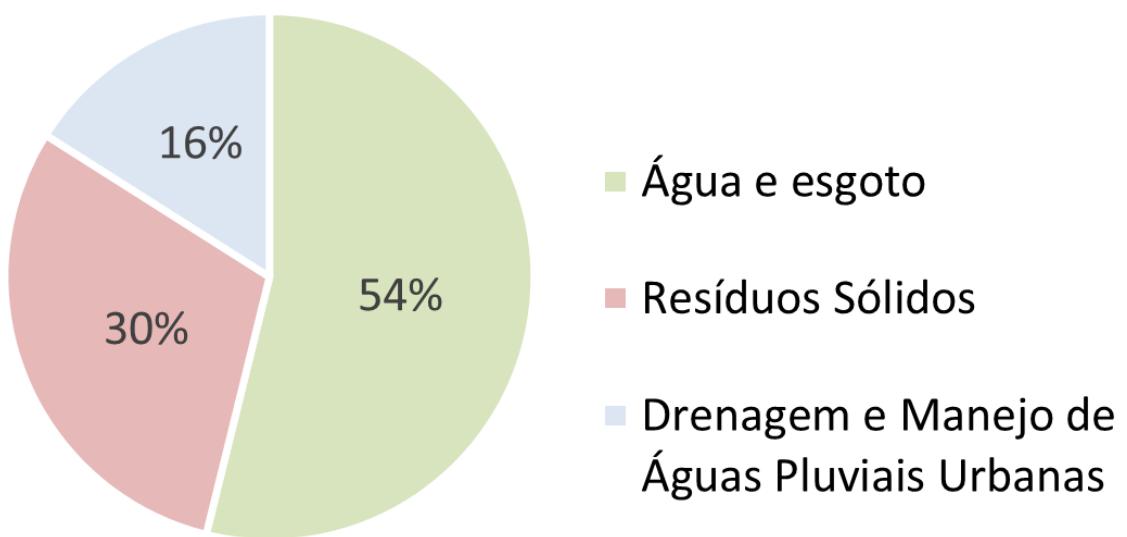


Figura 2 – Percentual de indicadores do SNIS

Para a seleção dos indicadores que compõem o INSA, utilizou-se aqueles considerados mais importantes para a avaliação do desempenho dos sistemas de saneamento, bem como aqueles que favoreçam a definição de metas de melhoria dos serviços de saneamento. Dos 156 indicadores, foram escolhidos 34 indicadores (22% do total), cuja distribuição por eixo do saneamento é apresentada na Figura 3. Já o Quadro 1 apresenta a lista de indicadores utilizados no INSA por agrupamento temático, e sua respectiva unidade de medida.

Determinação dos valores de referência

A partir da escolha dos indicadores, foram definidos os valores de referência, adaptando-se o método utilizado por Pertel *et al.* (2015) e Bezerra *et al.* (2019), que utilizaram estatística descritiva para estabelecer parâmetros de avaliação de desempenho operacional (*benchmarking*) dos serviços de abastecimento de água dos prestadores de serviço.

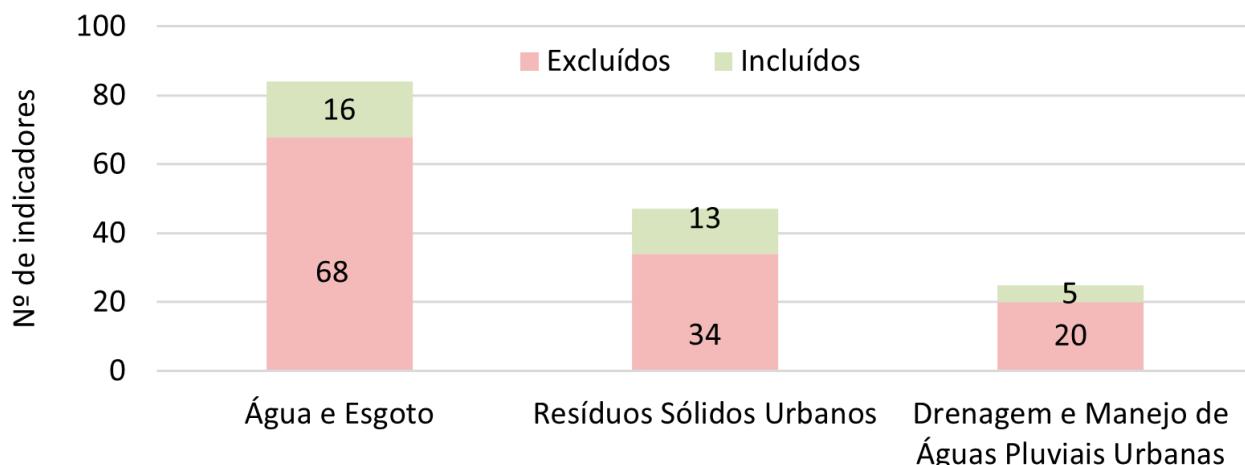


Figura 3 – Percentual de indicadores do SNIS utilizados no INSA

| Agrupamento | Código | Indicador | Unidade |
|--------------------------------------|--------|--|--------------------------|
| Abastecimento de água | | | |
| Indicadores operacionais – Água | IN055 | Índice de atendimento total de água | % |
| | IN011 | Índice de macromedição | % |
| | IN009 | Índice de hidrometriação | % |
| | IN025 | Volume de água disponibilizado por economia | m ³ /mês/econ |
| | IN058 | Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água | kWh/m ³ |
| | IN013 | Índice de perdas de faturamento | % |
| | IN049 | Índice de perdas na distribuição | % |
| Indicadores sobre qualidade – Água | IN085 | Índice de conformidade da quantidade de amostra – Coliformes Totais | % |
| | QD004* | Taxa de economias ativas atingidas por paralisações | % |
| | IN072 | Duração média das paralisações | horas/paralisações |
| Esgotamento Sanitário | | | |
| Indicadores operacionais – Esgoto | IN056 | Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água | % |
| | IN015 | Índice de coleta de esgoto | % |
| | IN021 | Extensão da rede de esgoto por ligação | m/lig. |
| | IN059 | Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário | kWh/m ³ |
| Indicadores sobre qualidade – Esgoto | IN077 | Duração média dos reparos de extravasamentos de esgotos | horas/extrav |
| | IN082 | Extravasamentos de esgotos por extensão de rede | extrav/km |
| Resíduos Sólidos | | | |
| Indicadores Gerais | IN005 | Autossuficiência financeira | % |
| | IN011 | Receita arrecadada <i>per capita</i> com serviços de manejo | R\$/habitante |
| Indicadores sobre coleta | IN015 | Taxa de cobertura da coleta de RDO em relação à população total | % |
| | IN018 | Produtividade média de coletadores e motorista | Kg/(empreg. x dia) |

| | | | |
|---|--------|---|----------------------|
| de resíduos sólidos | IN019 | Taxa de motoristas e coletadores por habitante urbano | empreg./1000hab |
| | IN028 | Massa [RDO + RPU] coletada <i>per capita</i> em relação à população total atendida | Kg/(hab x dia) |
| Indicadores sobre coleta seletiva de resíduos sólidos | IN030 | Taxa de cobertura da coleta seletiva porta a porta em relação a pop. Urbana | % |
| | IN031 | Taxa de recuperação de recicláveis em relação à quantidade de resíduos domiciliares (RDO) e Resíduos Públicos (RPU) | % |
| | Ca007* | Taxa de Catadores por habitante urbano | catadores/10.000 hab |
| Indicadores sobre serviços de varrição, capina e poda | IN044 | Produtividade média dos varredores | Km / (empreg. X dia) |
| | IN045 | Taxa de varredores por habitante urbano | empreg./1000 hab |
| | IN048 | Extensão total anual varrida <i>per capita</i> | Km/(hab x ano) |
| | IN051 | Taxa de capinadores por habitante urbano | empreg./1000 hab |
| Drenagem e manejo de águas pluviais urbanas | | | |
| Econômico-financeiros e administrativos | IN049 | Investimento <i>per capita</i> em drenagem e manejo de águas pluviais urbanas | R\$/ (hab. X ano) |
| Infraestrutura | IN020 | Taxa de cobertura de pavimentação e meio-fio na área urbana do município | % |
| | IN021 | Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais subterrâneos | % |
| | IN051 | Densidade de captações de águas pluviais na área urbana | Um/km ² |
| Gestão de riscos | IN040 | Parcela de domicílios em situação de risco de inundaçao | % |

Quadro 1 – Indicadores de saneamento utilizados para cálculo do INSA. Nota *: Foram produzidos novos indicadores a partir das informações QD004 e Ca007

Os valores de referência dos serviços foram estabelecidos com base no cálculo dos quartis Q1 (percentil p25), Q2 (percentil p50) e Q3 (percentil p75) da amostra de dados dos indicadores, referentes aos 184 municípios. Conforme aponta Bezerra et al. (2019), quartis são “valores que dividem uma amostra em quatro grupos contendo, aproximadamente, a mesma quantidade de dados”. A partir do cálculo dos percentis, os indicadores são enquadrados em quatro grupos, avaliando-se cada indicador individualmente:

- Grupo I: indicadores com melhor desempenho: aqueles que apresentam desempenho superior a 75% da amostra;
- Grupo II: indicadores que apresentam desempenho entre 50% e 75% da amostra;
- Grupo III: indicadores que apresentam desempenho entre 25% e 50% da amostra;
- Grupo IV: indicadores que apresentam desempenho abaixo de 25% da amostra.

Desenvolvimento do Índice de Saneamento Ambiental (INSA)

A proposição do INSA seguiu a metodologia de aplicação do Índice de Salubridade Ambiental (ISA). Para a formulação do score final do INSA, foram estabelecidos pesos para cada indicador por meio do método multicritério Análise Hierárquica de Processos (AHP). Foi dado um maior peso aos indicadores que possuem metas estabelecidas na legislação ambiental, no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Planares) ou no Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab).

A metodologia foi aplicada e validada em todos os municípios do estado de Pernambuco. Os municípios foram agrupados em quartis, de modo a identificar aqueles que possuem o melhor desempenho. Em estatística descritiva, o primeiro (Q1), o segundo (Q2) e o terceiro (Q3) quartis correspondem aos percentis $p25$, $p50$ e $p75$. Os percentis dividiram a amostra ordenada (por ordem crescente dos dados) em 100 partes, cada uma com uma percentagem de dados aproximadamente igual. O k -ésimo percentil corresponde à frequência cumulativa de $N.k/100$, onde N é o tamanho amostral. A partir dos valores dos quartis de cada indicador, foram determinados os valores de scores de cada indicador para cada município.

Após a definição do método, este foi aplicado e validado em todos os municípios do estado de Pernambuco que enviaram os dados para o SNIS 2020. Os municípios também foram agrupados em quartis, para identificar aqueles que possuem o melhor desempenho (25% melhores).

Adicionalmente, os resultados foram agrupados para as seis faixas populacionais citadas pelos SNIS, onde foi realizado também um ranqueamento por porte dos municípios. As faixas populacionais são (Figura 4):

- Faixa 1: De 1 até 30.000 habitantes;
- Faixa 2: De 30.001 até 100.000 habitantes;
- Faixa 3: De 100.001 até 250.000 habitantes;
- Faixa 4: De 250.001 até 1.000.000 habitantes;
- Faixa 5: De 1.000.001 até 3.000.000 habitantes.
- Faixa 6: Superior a 3.000.000 habitantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os quartis para cada indicador analisado, que serviu de parâmetro de definição dos scores. A partir do enquadramento, os municípios recebem um score de 0 a 5 para cada indicador que, somando-se, gera um ranking de desempenho dos sistemas de saneamento, conforme apresenta a Tabela 2.

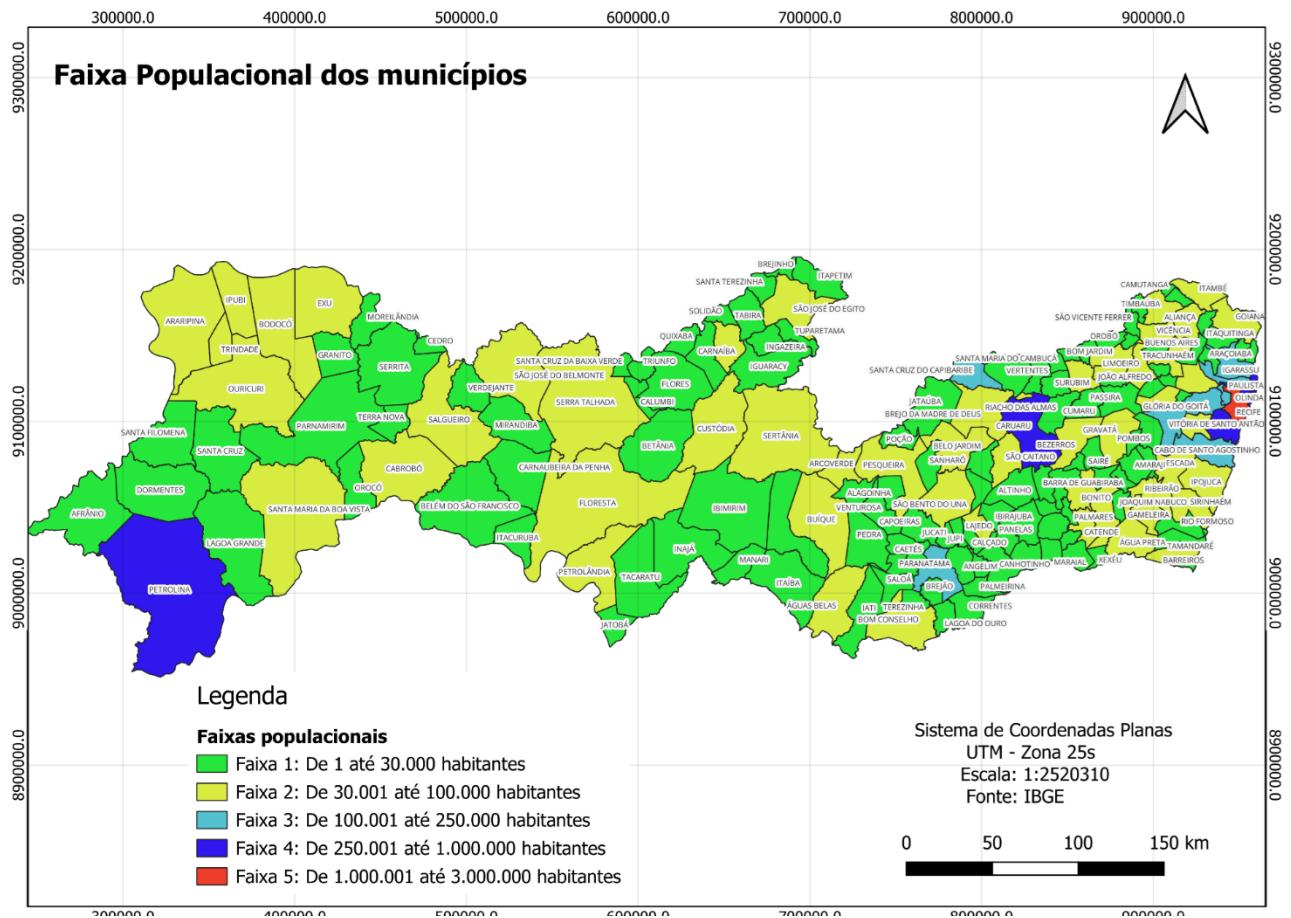


Figura 4 – Faixa populacional dos municípios

Existem indicadores que têm como meta o aumento do valor do índice, como os índices de atendimento urbano de água, coleta de esgoto, cobertura da coleta de resíduos, assim como indicadores que têm como meta a redução dos valores, como os de consumo de energia (IN058 e IN059), de perdas (IN013 e IN049), de paralisações dos serviços e extravasamento de esgotos (QD004, IN072, IN077 e IN082) e de domicílios em situação de risco de inundaçāo (IN040).

A partir do enquadramento, os municípios recebem um score de 0 a 5 para cada indicador que, somando-se, gera um ranking de desempenho do sistema de saneamento, conforme apresenta a Tabela 2. Existem indicadores que têm como meta o aumento do índice, como o índice de atendimento urbano de água, coleta de esgoto, cobertura da coleta de resíduos, assim como indicadores que têm como meta a redução do índice, como os indicadores de consumo de energia (IN058 e IN059), indicadores de perdas (IN013 e IN049), indicadores de paralisações dos serviços e extravasamento de esgotos (QD004, IN072, IN077 e IN082) e o indicador de domicílios em situação de risco de inundaçāo (IN040).

| Código | Indicador | Q1 | Q2 | Q3 |
|--|---|-------|--------|--------|
| ABASTECIMENTO DE ÁGUA | | | | |
| IN055 | Índice de atendimento total de água (%) | 54,6 | 70,0 | 88,6 |
| IN011 | Índice de macromedição (%) | 83,7 | 96,9 | 99,8 |
| IN009 | Índice de hidrometração (%) | 85,9 | 91,9 | 95,6 |
| IN025 | Volume de água disponibilizado por economia (m ³ /mês/econ) | 11,8 | 15,3 | 20,4 |
| IN058 | Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água (kWh/m ³) | 0,5 | 1,0 | 1,8 |
| IN013 | Índice de perdas de faturamento (%) | 10,2 | 25,2 | 40,2 |
| IN049 | Índice de perdas na distribuição (%) | 33,7 | 41,5 | 53,4 |
| IN085 | Índice de conformidade da quantidade de amostra – Coliformes Totais (%) | 86,0 | 88,3 | 96,8 |
| QD004* | Taxa de economias ativas atingidas por paralisações | 21,8 | 50,0 | 73,1 |
| IN072 | Duração média das paralisações (horas/paralisações) | 22,3 | 29,9 | 37,1 |
| ESGOTAMENTO SANITÁRIO | | | | |
| IN056 | Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água (%) | 12,9 | 26,5 | 36,0 |
| IN015 | Índice de coleta de esgoto (%) | 10,9 | 31,5 | 46,4 |
| IN021 | Extensão da rede de esgoto por ligação (m/lig) | 13,5 | 16,2 | 19,4 |
| IN059 | Índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário (kWh/m ³) | 0,1 | 0,3 | 0,6 |
| IN077 | Duração média dos reparos de extravasamentos de esgotos (horas/extrav) | 29,6 | 48,3 | 66,1 |
| IN082 | Extravasamentos de esgotos por extensão de rede (extrav/ km) | 1,13 | 2,60 | 4,00 |
| RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS | | | | |
| IN005 | Autossuficiência financeira (%) | 1,6 | 5,1 | 15,5 |
| IN011 | Receita arrecadada <i>per capita</i> com serviços de manejo (R\$/hab) | 1,1 | 3,2 | 26,4 |
| IN015 | Taxa de cobertura da coleta de RDO em relação à população total (%) | 62,9 | 77,3 | 89,8 |
| IN018 | Produtividade média de coletadores e motorista (kg/emp/dia) | 804,5 | 1466,3 | 2519,4 |
| IN019 | Taxa de motoristas e coletadores por habitante urbano (emp/1000 hab) | 0,42 | 0,70 | 1,04 |
| IN028 | Massa [RDO + RPU] coletada <i>per capita</i> em relação à população total atendida (kg/hab/dia) | 0,45 | 0,70 | 1,04 |
| IN030 | Taxa de cobertura da coleta seletiva porta a porta em relação a pop. Urbana (%) | 8,24 | 29,6 | 47,5 |
| IN031 | Taxa de recuperação de recicláveis em relação à quantidade de resíduos domiciliares e resíduos públicos (%) | 0,51 | 1,40 | 3,40 |
| IN044 | Produtividade média dos varredores (km/emp/dia) | 0,85 | 1,40 | 1,70 |
| IN045 | Taxa de varredores por habitante urbano (emp/1000 hab) | 0,62 | 1,20 | 2,10 |
| IN048 | Extensão total anual varrida <i>per capita</i> (km/hab/ano) | 0,21 | 0,50 | 0,90 |
| IN051 | Taxa de capinadores por habitante urbano (emp/1000 hab) | 0,17 | 0,30 | 0,60 |
| Ca007 | Taxa de catadores por habitante urbano | 1,3 | 5,2 | 8,0 |
| DRENAGEM E MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS URBANAS | | | | |
| IN049 | Investimento <i>per capita</i> em drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (R\$/hab/ano) | 0,0 | 1,0 | 4,3 |
| IN020 | Taxa de cobertura de pavimentação e meio-fio na área urbana do município (%) | 57,4 | 70,1 | 80,5 |
| IN021 | Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais subterrâneos (%) | 0,0 | 3,2 | 14,3 |
| IN051 | Densidade de captações de águas pluviais na área urbana (Um/km ²) | 0,0 | 1,0 | 5,0 |
| IN040 | Parcela de domicílios em situação de risco de inundação (%) | 0,0 | 0,4 | 4,8 |

Tabela 1 – Valores de referência dos indicadores de desempenho adotados para a composição do INSA

| Grupo | Indicadores com metas de aumento do índice | Indicadores com meta de redução do índice | Score do indicador |
|-------|--|---|--------------------|
| I | IN > Q3 | IN < Q1 | 5 |
| II | Q2 < IN < Q3 | Q1 < IN < Q2 | 3 |
| III | Q1 < IN < Q2 | Q2 < IN < Q3 | 1 |
| IV | IN < Q1 | IN < Q3 | 0 |

Tabela 2 – Score dos indicadores do INSA

Antes de realizar o cálculo do INSA para cada município, aplicou-se o método AHP. Os Quadros 2 a 5 apresentam os pesos obtidos para cada indicador, em relação aos grupos temáticos. Os resultados das análises, para cada indicador utilizado na pesquisa, são mostrados nas Tabelas 3 a 6.

| Ind. | IN005 | IN011 | IN015 | IN018 | IN019 | IN028 | IN030 | IN031 | IN044 | IN045 | IN048 | IN051 | Ca007 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| IN005 | 1 | 3 | 1/3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 |
| IN011 | 1/3 | 1 | 1/3 | 3 | 3 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1 | 5 | 5 | 5 | 1/3 |
| IN015 | 1 | 3 | 1 | 5 | 5 | 3 | 1 | 1 | 3 | 3 | 5 | 5 | 3 |
| IN018 | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 1 | 3 | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1/3 |
| IN019 | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1/3 | 3 | 1/5 |
| IN028 | 1/5 | 1 | 1/3 | 3 | 3 | 1 | 1/3 | 1/3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1/3 |
| IN030 | 1/3 | 3 | 1 | 5 | 5 | 3 | 1 | 1/3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 1/3 |
| IN031 | 1/3 | 3 | 1 | 5 | 5 | 3 | 3 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 1 |
| IN044 | 1/5 | 1 | 1/3 | 1 | 3 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1/5 |
| IN045 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1/3 | 1 | 3 |
| IN048 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1 | 3 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1 | 3 | 1 | 3 | 1/3 |
| IN051 | 1/5 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1/3 | 1 | 1/3 |
| Ca007 | 1/3 | 3 | 1/3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 1 | 5 | 1/3 | 3 | 3 | 1 |

Quadro 2 – Comparação dos indicadores para o agrupamento dos resíduos sólidos urbanos

| Indicadores | IN055 | IN011 | IN009 | IN025 | IN058 | IN013 | IN049 | IN085 | QD004 | IN072 |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| IN055 | 1 | 3 | 3 | 5 | 7 | 5 | 5 | 7 | 3 | 7 |
| IN011 | 1/3 | 1 | 1 | 3 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 |
| IN009 | 1/3 | 1 | 1 | 3 | 7 | 7 | 7 | 3 | 7 | 5 |
| IN025 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1 | 3 | 1/3 | 1/3 | 3 | 1/3 | 3 |
| IN058 | 1/7 | 1/5 | 1/7 | 1/3 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/5 | 1 |
| IN013 | 1/5 | 1/5 | 1/7 | 3 | 5 | 1 | 1 | 5 | 3 | 5 |
| IN049 | 1/5 | 1/5 | 1/7 | 3 | 5 | 1 | 1 | 5 | 3 | 5 |
| IN085 | 1/7 | 1/3 | 1/3 | 1/3 | 3 | 1/5 | 1/5 | 1 | 1/3 | 3 |
| QD004 | 1/3 | 1/5 | 1/7 | 3 | 5 | 1/3 | 1/3 | 3 | 1 | 3 |
| IN072 | 1/7 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1 | 1/5 | 1/5 | 1/3 | 1/3 | 1 |

Quadro 3 – Comparação dos indicadores para o agrupamento de abastecimento de água

| Indicadores | IN056 | IN015 | IN021 | IN059 | IN077 | IN082 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| IN056 | 1 | 1 | 7 | 5 | 3 | 3 |
| IN015 | 1 | 1 | 7 | 5 | 3 | 3 |
| IN021 | 1/7 | 1/7 | 1 | 1/3 | 1/5 | 1/7 |
| IN059 | 1/5 | 1/5 | 3 | 1 | 1/3 | 1/5 |
| IN077 | 1/3 | 1/3 | 5 | 3 | 1 | 1/5 |
| IN082 | 1/3 | 1/3 | 7 | 5 | 5 | 1 |

Quadro 4 – Comparação dos indicadores para o agrupamento de esgotamento sanitário

| Indicadores | IN049 | IN020 | IN021 | IN051 | IN040 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| IN049 | 1 | 1/3 | 1/3 | 1/5 | 1/5 |
| IN020 | 3 | 1 | 1 | 1/3 | 1/5 |
| IN021 | 3 | 1 | 1 | 1/3 | 1/5 |
| IN051 | 5 | 3 | 3 | 1 | 1/3 |
| IN040 | 5 | 5 | 5 | 3 | 1 |

Quadro 5 – Comparação dos indicadores para o agrupamento de drenagem e manejo de águas pluviais

| Indicadores | Peso | Percentagem (%) |
|--------------------|-------------|------------------------|
| IN005 | 0,166 | 16,6 |
| IN011 | 0,096 | 9,6 |
| IN015 | 0,146 | 14,6 |
| IN018 | 0,052 | 5,2 |
| IN019 | 0,029 | 2,9 |
| IN028 | 0,081 | 8,1 |
| IN030 | 0,116 | 11,6 |
| IN031 | 0,158 | 15,8 |
| IN044 | 0,055 | 5,5 |
| IN045 | 0,032 | 3,2 |
| IN048 | 0,052 | 5,2 |
| IN051 | 0,019 | 1,9 |
| Ca007 | 0,116 | 11,6 |

Tabela 3 – Pesos estatísticos dos critérios da matriz AHP para o eixo dos resíduos sólidos urbanos

| Indicadores | Peso | Percentagem (%) |
|--------------------|-------------|------------------------|
| IN055 | 0,216 | 21,6 |
| IN011 | 0,157 | 15,7 |
| IN009 | 0,194 | 19,4 |
| IN025 | 0,056 | 5,6 |
| IN058 | 0,018 | 1,8 |
| IN013 | 0,111 | 11,1 |
| IN049 | 0,111 | 11,1 |
| IN085 | 0,042 | 4,2 |
| QD004 | 0,077 | 7,7 |
| IN072 | 0,019 | 1,8 |

Tabela 4 – Pesos estatísticos dos critérios da matriz AHP para o eixo de abastecimento de água

| Indicadores | Peso | Percentagem (%) |
|--------------------|-------------|------------------------|
| IN056 | 0,263 | 26,3 |
| IN015 | 0,263 | 26,3 |
| IN021 | 0,024 | 2,4 |
| IN059 | 0,065 | 6,5 |
| IN077 | 0,131 | 13,1 |
| IN082 | 0,254 | 25,4 |

Tabela 5 – Pesos estatísticos dos critérios da matriz AHP para o eixo do esgotamento sanitário

| Indicadores | Peso | Percentagem (%) |
|--------------------|-------------|------------------------|
| IN049 | 0,046 | 4,6 |
| IN020 | 0,124 | 12,4 |
| IN021 | 0,124 | 12,4 |
| IN051 | 0,277 | 27,7 |
| IN040 | 0,427 | 42,7 |

Tabela 6 – Pesos estatísticos dos critérios da matriz AHP para o eixo drenagem e manejo de águas pluviais

Mundim e Volschan Junior (2020) realizaram uma análise dos pesos de cada indicador de água e esgoto para a avaliação do desempenho dos prestadores de serviço, de acordo com outros índices nacionais e internacionais. Os indicadores de atendimento total de água (IN055), índice de hidrometriação (IN009), Índice de macromedição (IN011), Índice de Perda na Distribuição (IN049) e Índice de atendimento total com coleta de esgotos sanitários (IN056) se destacaram entre os indicadores de maior peso na avaliação de desempenho, o que corrobora com a escolha dos indicadores de abastecimento de água.

Com a definição dos pesos, foram determinadas as equações para obtenção dos subíndices de abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos urbanos e drenagem e manejo de águas pluviais (Eq. 1 a 4):

$$\begin{aligned} IDRS = & (0,166 \times S_{IN005}) + (0,096 \times S_{IN011}) + (0,146 \times S_{IN015}) + (0,052 \times S_{IN018}) + (0,029 \times S_{IN019}) \\ & + (0,081 \times S_{IN028}) + (0,116 \times S_{IN030}) + (0,158 \times S_{IN031}) + (0,055 \times S_{IN044}) + (0,032 \times S_{IN045}) \\ & + (0,052 \times S_{IN048}) + (0,019 \times S_{IN051}) + (0,116 \times S_{Ca007}) \end{aligned} \quad Eq. 1$$

$$\begin{aligned} IDAA = & (0,216 \times S_{IN055}) + (0,157 \times S_{IN011}) + (0,194 \times S_{IN009}) + (0,056 \times S_{IN025}) + (0,018 \times S_{IN058}) \\ & + (0,111 \times S_{IN013}) + (0,111 \times S_{IN049}) + (0,042 \times S_{IN085}) + (0,077 \times S_{QD004}) \\ & + (0,019 \times S_{IN072}) \end{aligned} \quad Eq. 2$$

$$\begin{aligned} IDES = & (0,263 \times S_{IN056}) + (0,263 \times S_{IN015}) + (0,024 \times S_{IN021}) + (0,065 \times S_{IN059}) + (0,131 \times S_{IN077}) \\ & + (0,254 \times S_{IN082}) \end{aligned} \quad Eq. 3$$

$$\begin{aligned} IDAP = & (0,046 \times S_{IN049}) + (0,124 \times S_{IN020}) + (0,124 \times S_{IN021}) + (0,277 \times S_{IN051}) \\ & + (0,427 \times S_{IN040}) \end{aligned} \quad Eq. 4$$

A média dos scores dos subíndices gera o INSA, conforme apresenta a Eq. 5. Não foram atribuídos pesos diferentes entre os subíndices, por considerar que todos os eixos do saneamento possuem o mesmo grau de importância para a sustentabilidade ambiental.

$$\text{INSA} = \frac{(\text{IDRS} + \text{IDAA} + \text{IDES} + \text{IDAP})}{4} \quad \text{Eq. 5}$$

O INSA classifica os municípios em níveis de desempenho da seguinte forma:

- *Baixo desempenho*: $0,000 < \text{INSA} < 0,400$;
- *Médio desempenho*: $0,400 \leq \text{INSA} < 0,600$
- *Alto desempenho*: $0,600 \leq \text{INSA} < 0,800$
- *Excelente desempenho*: $0,800 \leq \text{INSA} < 1,000$

Para validação, a metodologia foi aplicada para gerar um *ranking* de desempenho dos sistemas de saneamento dos municípios do estado de Pernambuco a partir dos dados do SNIS 2020. A Figura 5 apresenta o *ranking* dos 15 municípios com os melhores *benchmarking* em Pernambuco.

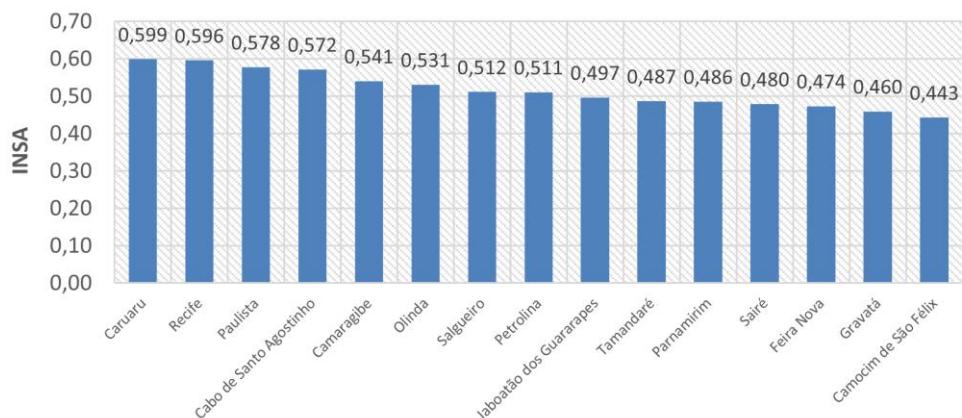


Figura 5 – *Ranking* dos 15 municípios com melhor desempenho na prestação de serviços de saneamento básico com base no INSA, ano base 2020

O INSA obtido para o estado de Pernambuco foi de 0,248. Observa-se que o município de Caruaru, localizado na Região do Agreste Central, com população de 378.180 habitantes (Faixa populacional 4) e Recife, capital do estado, localizado na Região Metropolitana do Recife (RMR), com população de 1.494.586 habitantes, faixa populacional 5, obtiveram a melhor pontuação. Dos 15 melhores municípios, cinco são da faixa populacional 1 (Camocim de São Félix, Feira Nova, Sairé, Parnamirim e Tamandaré), dois são da faixa populacional 2 (Gravatá e Salgueiro), dois são da faixa populacional 3 (Camaragibe e Cabo de Santo Agostinho), e cinco da faixa populacional 4 (Jaboatão dos Guararapes, Petrolina, Olinda, Paulista e Caruaru). Apenas Recife pertence à Faixa populacional 5 no estado.

Por outro lado, 159 municípios analisados (86% do total) obtiveram um baixo desempenho (INSA menor que 0,40). Destes, destacam-se os municípios de Água Preta, Amaraji, Cortês, Gagmeleira e Jaqueira, todos da Mata Sul, bem como o município de Iati (Agreste Meridional), que obtiveram score zero, por não haverem declarado nenhuma informação ao SNIS em 2020.

Ao se analisar o INSA por Região de Desenvolvimento, conforme se observa na Figura 6, a Região Metropolitana se destaca das demais, sendo a única região que obteve índice de médio desempenho, onde a menor pontuação obtida foi a de Ilha de Itamaracá (0,21). O pior desempenho observado foi na Mata Sul, que possui o maior índice de inadimplência do estado em relação ao SNIS.

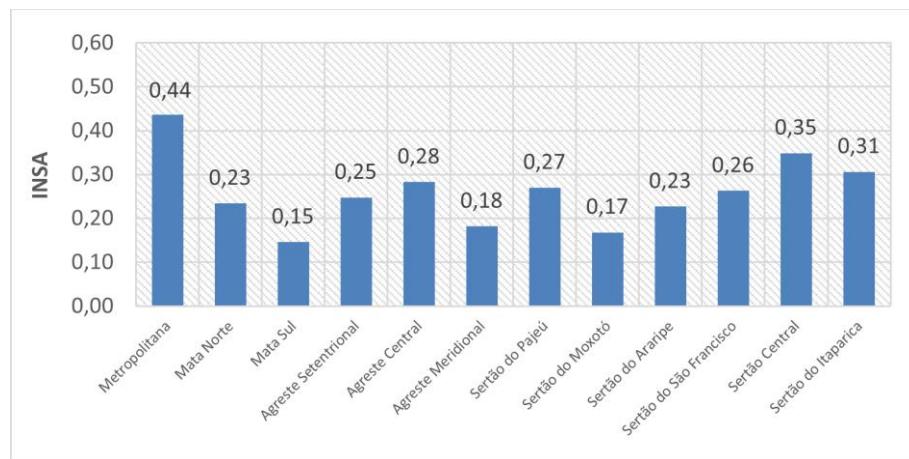


Figura 6 – *Ranking* por Região de Desenvolvimento da prestação de serviço de saneamento básico com base no INSA, ano base 2020

Aplicando-se o mesmo método para classificar o score final dos municípios por faixa populacional (Figura 7), observa-se que todos os municípios do Grupo IV (pior desempenho) pertencem às faixas populacionais 1 e 2. A faixa 2 possui o menor percentual de municípios pertencentes ao Grupo I (melhor desempenho).

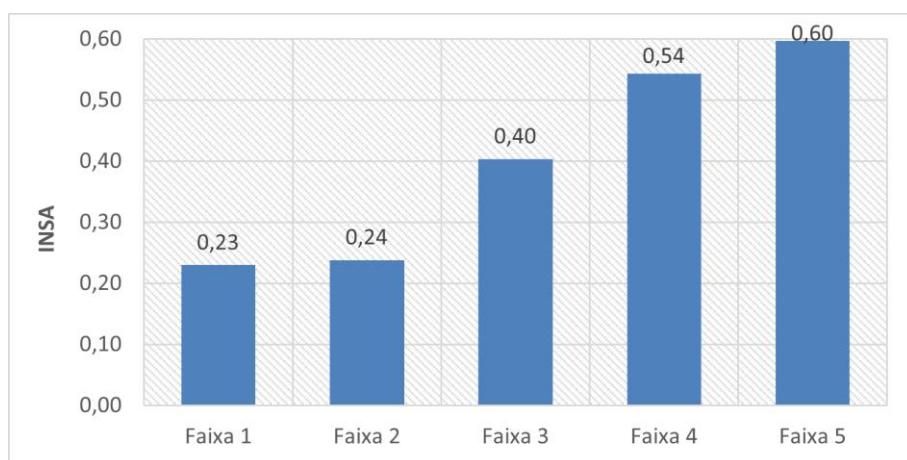


Figura 7 – Classificação dos municípios por faixa populacional

Ao comparar o score dos municípios por subíndice (Figura 8), observa-se que o sistema de abastecimento de água é o único que alcança um desempenho médio (0,51). Os demais possuem um baixo desempenho, destacando-se negativamente o esgotamento sanitário, com uma média de 0,08.

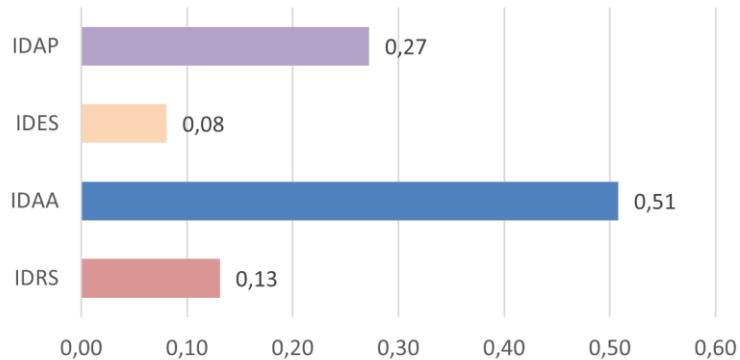


Figura 8 – Classificação dos municípios por faixa populacional

Os baixos índices estão diretamente relacionados à ausência de dados fornecidos ao SNIS, visto que municípios que não forneceram dados, recebem score 0. No caso do esgotamento sanitário, 151 municípios obtiveram score 0, dos quais 12 não forneceram informações ao sistema e 139 não possuem sistema de esgotamento sanitário. Além destes, 12 municípios não declararam informações acerca de abastecimento de água, 60 não declararam sobre resíduos sólidos, e 70 não declararam sobre manejo de águas pluviais.

Por fim, foi realizada uma análise de sensibilidade, que adotou o mesmo peso para todos os indicadores (Figura 9).

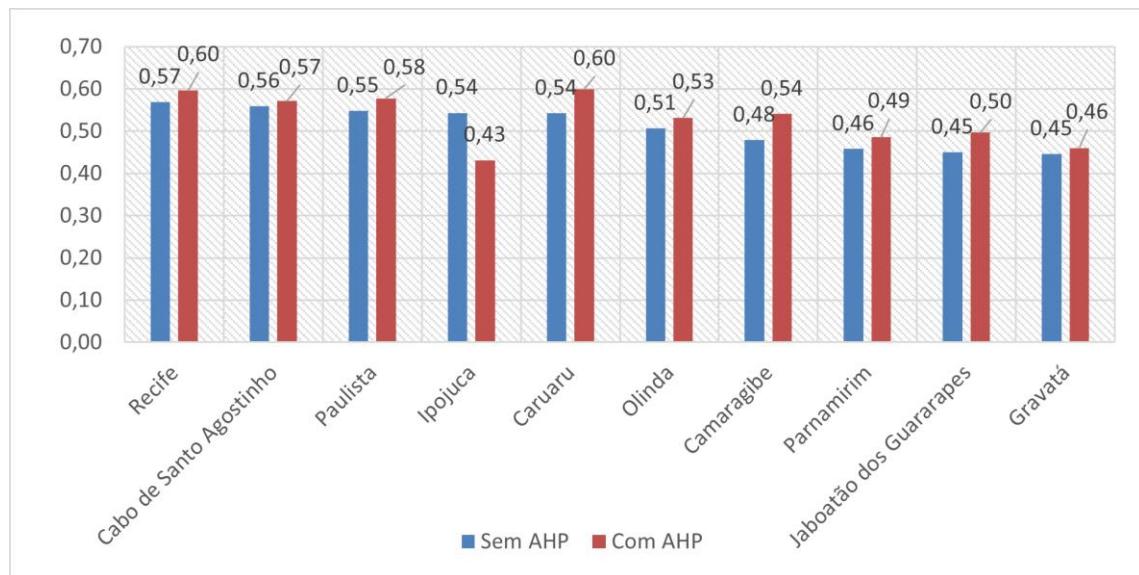


Figura 9 – Ranking dos 10 municípios com melhor desempenho na prestação de serviços de saneamento desconsiderando o AHP, em comparação com INSA

Observou-se uma redução de 8% no score final do estado (0,229). Sem o AHP, o município do Recife assumiria a primeira posição no *ranking*, seguindo do Cabo de Santo Agostinho e Paulista. O maior destaque seria Ipojuca, que subiria da posição 20º para 4º. Caruaru cairia para 5º, conforme se observa na Figura 8.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos com o desenvolvimento e aplicação do INSA, conclui-se que a metodologia permitiu identificar os municípios que possuem as melhores práticas de gestão dos sistemas de saneamento, bem como alertar os municípios que possuem as piores práticas. Indicando assim o melhor caminho para tomada de decisão via políticas públicas.

Os valores do INSA, por eixo do setor saneamento de básico, atenderam às expectativas de que a infraestrutura dos sistemas de abastecimento de água é a mais consolidada, enquanto a dos sistemas de esgotamento sanitário é a mais precária. Por outro lado, esperava-se que o subíndice de resíduos sólidos urbanos (IDRS) fosse maior que o de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas (IDAP), por ser um sistema menos complexo de ser implementado, pois requer menos recursos para a sua implantação. Constatou-se que os indicadores analisados para o IDAP, além de serem mais recentes, são mais difíceis de serem obtidos, como a densidade de captações de águas pluviais na área urbana, e parcela de domicílios em situação de risco de inundação, o que pode apontar para um fornecimento de dados estimados.

O estabelecimento de pesos para os indicadores influenciou consideravelmente as avaliações. Não utilizar pesos diferentes para os indicadores podem erroneamente superestimar o desempenho de alguns municípios, de modo que a metodologia INSA com AHP foi considerada mais adequada que a sem AHP.

Por fim, conclui-se que a adoção do INSA pode resultar em uma análise mais aprofundada dos indicadores do SNIS. Propõe-se, como futuras pesquisas, a adaptação da metodologia com outros indicadores que não foram considerados pela ausência de dados para municípios do estado de Pernambuco. A partir desta pesquisa, propõe-se que o INSA seja validado para outros estados brasileiros, para comparação e composição de índices regionalizados.

Agradecimentos

Ao IFPE, pelo apoio financeiro para desenvolvimento desta pesquisa.

Submetido em 6 de fevereiro de 2025.

Aceito para publicação em 14 de julho de 2025.

Referências

- ATHAYDES, T. V. S.; PAROLIN, M.; CRISPIM, J. Q. Análise Histórica sobre práticas de saneamento básico no mundo. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 08, n. 65, p. 134-146, 2020.
- BEZERRA, S.T.M.; PERTEL, M.; MACÊDO, J.E.S. Avaliação do desempenho dos sistemas de abastecimento de água do Agreste brasileiro. **Ambiente Construído**, v. 19, n. 3, p. 249-258, jul./set. 2019.
- CONESAN - CONSELHO ESTADUAL DE SANEAMENTO (CONESAN). **ISA – Indicador de Salubridade Ambiental:** Manual Básico. São Paulo: CONESAN, 1999.
- DUARTE, A.D.; BEZERRA, S.T.M.; GONÇALVES, E.A.P. Environmental health indicator for the evaluation of neighborhoods in urban areas: a case study in Caruaru (PE), Brazil. **Brazilian Journal of Environmental Sciences**, v. 56, n. 1, p. 166-179, 2021. DOI: <<https://doi.org/10.5327/Z21769478750>>
- FERREIRA, P.S.F.; MOTTA, P.C.; SOUZA, T.C.; SILVA, T.P.; OLIVEIRA, J.F.; SANTOS, A.S.P. Avaliação preliminar dos efeitos da ineficiência dos serviços de saneamento na saúde pública brasileira. **Revista Internacional de Ciências**, v. 6, n. 2, p. 214-229. 2016. DOI: <<https://doi.org/10.12957/ric.2016.24809>>
- MDR – MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021**. Brasília: MDR, 2021. 206 p.
- MUNDIM, B. C.; VOLCHAN JUNIOR, I. Avaliação dos indicadores de desempenho operacionais e de qualidade do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento para sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário. **Revista DAE**, v. 68, n. 227, p. 20-34, 2020. DOI: <<https://doi.org/10.36659/dae.2020.079>>
- PEREIRA, M. A.; MARQUES, R. C. Technical and scale efficiency of the Brazilian municipalities' Water and Sanitation Services: A Two-stage Data Envelopment Analysis. **Sustainability**, v. 14, n. 1, p. 1-17, 2021. DOI: <<https://doi.org/10.3390/su14010199>>
- PEREIRA, S. S.; CURI, R. C.; CURI, W. F. Uso de indicadores na gestão dos resíduos sólidos urbanos: uma proposta metodológica de construção e análise para municípios e regiões. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 3, mai./jun., p. 471-483, 2018. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522018162872>>
- PEREIRA, T.S.T.; HELLER, L. Planos municipais de saneamento básico: avaliação de 18 casos brasileiros. **Engenharia Ambiental e Sanitária**, v. 20, n. 3, p. 395-404, 2015. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522015020000098824>>
- PEIXOTO, F.S.; FELIX NETO, J.M.; GOMES, I.N.; DIAS, G.H. Índice de saneamento ambiental da área urbana do município de Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 6, p. 2130-2139, 2018.
- PERTEL, M.; AZEVEDO, J.P.S.; VOLCHAN JUNIOR, I. Uso de indicadores de benchmarking entre as Companhias Estaduais de Serviço de Distribuição de Água no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 159-168, 2016. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S1413-4152201600100120418>>
- SANTIAGO, L. S.; DIAS, S. M. F. Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 17, n. 2, p. 203 – 212, 2012. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522012000200010>>
- SILVA, N. V. S.; NASCIMENTO, R. Q.; SILVA, T. C. Modelo de priorização de investimentos em saneamento básico utilizando programação linear com base em indicadores ambientais.

Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 13, n. 2, abr./jun, p. 171-180 2008. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000200007>>

SOBRAL, A.; FREITAS, C. M.; PEDROSO, M. M.; GURGEL, H. Definições básicas: Dado, indicador e índice. In: FREITAS, C. M. **Saúde Ambiental**: guia básico para a construção de indicadores. Brasil: Ministério da Saúde, 2011.

SOUSA, M. S.; SERRA, J. C. V. Indicadores ambientais de resíduos sólidos urbanos associado a melhoria das políticas públicas. **Revista Gestão & Sustentabilidade ambiental**, v. 8, n. 3. P. 707-724, jul/set. 2019. DOI: <<https://doi.org/10.19177/rgsa.v8e32019707-724>>

TEIXEIRA, D. A.; FILHO, J. F. P.; SANTIAGO, A. F. Indicador de salubridade ambiental: variações da formulação e usos do indicador no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 3, mai./jun. 2018. p. 543-556. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522018170866>>

VALONES, G.; GAVAZZA, S.; FLORENCIO, L.; SANTOS, S. M.; KATO, M. T. O uso de indicadores ambientais sob a perspectiva conjunta do saneamento e da saúde em países emergentes. **Revista DAE**, v. 70, n. 234, p. 214 – 227, 2022. DOI: <<https://doi.org/10.36659/dae.2022.015>>

VENTURA, K. S.; ALBUQUERQUE, L. R. Avaliação de planos de saneamento básico em municípios do sudeste brasileiro. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 8, n. 56, p. 18-34, 2020.