



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIELA VALONES RODRIGUES DE ARAÚJO GOMES

**USO E GEOESPACIALIZAÇÃO DO INDICADOR DE SALUBRIDADE
AMBIENTAL: o caso do município de Pau dos Ferros no Rio Grande do Norte**

Recife

2022

GABRIELA VALONES RODRIGUES DE ARAÚJO GOMES

**USO E GEOESPACIALIZAÇÃO DO INDICADOR DE SALUBRIDADE
AMBIENTAL: o caso do município de Pau dos Ferros no Rio Grande do Norte**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil.

Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Mario Takayuki Kato

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Simone Machado Santos

Recife

2022

Catálogo na fonte
Bibliotecária Rosineide Mesquita Gonçalves da Luz, CRB-4 / 1361

G633u

Gomes, Gabriela Valones Rodrigues de Araújo.

Uso e geoespacialização do indicador de salubridade ambiental: o caso do município de Pau dos Ferros no Rio Grande do Norte / Gabriela Valones Rodrigues de Araújo Gomes. – 2022.

190 f.: il., figs., tabs., abrev. e siglas.

Orientador: Prof. Dr. Mario Takayuki Kato.

Coorientadora: Profa. Dra. Simone Machado Santos.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Recife, 2022.

Inclui referências e apêndices.

1. Engenharia civil. 2. Índice de salubridade ambiental. 3. Higidez ambiental. 4. Saneamento ambiental. 5. Saúde ambiental. 6. Novo coronavírus. 7. SARS-Cov-2. I. Kato, Mario Takayuki (Orientador). II. Santos, Simone Machado (Coorientadora). III. Título.

UFPE

624 CDD (22. ed.)

BCTG / 2022 - 429

GABRIELA VALONES RODRIGUES DE ARAÚJO GOMES

**USO E GEOESPACIALIZAÇÃO DO INDICADOR DE SALUBRIDADE
AMBIENTAL: o caso do município de Pau dos Ferros no Rio Grande do Norte**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para obtenção do título de Doutora em Engenharia Civil. Área de Concentração: Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovada em 29/08/2022

Orientador: Prof. Dr. Mario Takayuki Kato – UFPE

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Simone Machado Santos – UFPE

BANCA EXAMINADORA

participação por videoconferência

Prof.^a Dr.^a Maria do Carmo Martins Sobral (examinadora interna)
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência

Prof. Dr. Paulo Belli Filho (examinador externo)
Universidade Federal de Santa Catarina

participação por videoconferência

Prof.^a Dr.^a Juliana Cardoso de Moraes (examinadora externa)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a Vanice Santiago Fragoso Selva (examinadora externa)
Universidade Federal de Pernambuco

participação por videoconferência

Dr. José Roberto Santo de Carvalho (examinador externo)
Universidade Federal de Pernambuco

À André.

Esposo. Amor. Amigo.

Um comigo.

Minha carne. Meu lugar. Meu porto seguro.

AGRADECIMENTOS

O desenvolvimento de uma tese, concomitantemente, a vida cotidiana e multitarefa que acontece, é produto de um tempo longo de muitos questionamentos, renúncias e amadurecimento intelectual e humano.

No decorrer desta trajetória, residi em três cidades diferentes, percorri muitas estradas, entre inúmeras viagens de Recife – PE para Pau dos Ferros – RN e de Pau dos Ferros – RN para Garanhuns – PE.

Nesse caminho, pude contar com muitas caras pessoas, às quais dedico este importante espaço, para agradecer pela oração, gesto e palavra a mim direcionados.

Vocês foram a forja, a força e a esperança necessárias para que eu pudesse transpor todas as sinuosidades que surgiram no trilhar desta pesquisa.

O primeiro agradecimento é ao Amor. E o Amor é uma pessoa. É o Cristo. Aquele que, em todos os dias da minha existência, me constrange e me surpreende com sua capacidade ilimitada de me amar. Sua presença amiga, sua misericórdia, sua proximidade, seu olhar de futuro, capaz de enxergar em mim aquilo que ainda não vi. Obrigada por não te deixares vencer em generosidade, Senhor.

À André, aquele que um dia pediu a minha mão e nunca a soltou. Obrigada por sua honra, hombridade, proteção, fidelidade, entrega, bondade e motivação. Por ser a minha constância e a minha estabilidade. Sem você, meu amor, nada disso seria possível!

Aos meus pais por terem me concedido grandes tesouros: minha vida, minhas irmãs, a fé, a moral e a educação. Por tecerem meu caráter e personalidade com amor, sangue, suor e lágrimas.

Com o senhor, pai, aprendi sobre o labor e o olhar para o próximo. Enquanto crescia, te assistia, vendo sua determinação em trabalhar e prover a nossa casa, sem jamais deixar de ajudar a quem precisava, mesmo diante de tantas solicitações. Foi ali, sem palavra alguma, que compreendi sobre o cumprimento do dever e entendi que toda caridade feita é pouca, pois sempre há alguém precisando de um pouco mais de nós.

Com a senhora, mãe, aprendi o valor da família, da alegria, da beleza, do carinho e do perdão, e que é preciso recomeçar depois das quedas, e sorrir, mesmo diante da maior dor.

Às minhas irmãs, os melhores presentes que ganhei no existir. Vocês são meu relicário de memórias e afetos vividos, das histórias que só nós compartilhamos, são o lugar que sempre me convoca a crescer e a amar.

Aos meus avós Cleto e Dorinha (*in memoriam*). Por causa de vocês, vovô e vovó carrego em mim a herança da fé católica, do sim para sempre, da família reunida. Trago as lembranças dos melhores domingos e festividades, celebrados ao redor de uma mesa abundante de amor, de prosas, de risos, de lágrimas e de preces. Cercada por filhos, netos e bisnetos preenchendo aquele pequeno pedaço de céu, que era o lar de vocês. Sigo sentindo a intercessão de vocês e uma saudade imensa, desde aqueles dias que marcaram a entrada de vocês na Vida.

Aos amigos-irmãos, Pe. Erinaldo, Pe. Maurício, Vanessinha, Rosimere, Eri e Patrícia. Como é bom ter em minha biografia a presença de vocês!

À Rafael de Abreu, por me orientar a desenvolver virtudes, neste tempo da vida, a usar as dificuldades como ferramentas para o ordenamento da minha personalidade e por me trazer a Verdade e a Esperança.

Ao Prof. Dr. Mario Takayuki Kato, com quem já trilho o caminho acadêmico desde os tempos de mestrado e colho os frutos de suas assertivas e gentis orientações em minha trajetória profissional. Obrigada professor por sua forma tranquila e firme de me direcionar, diante das muitas mudanças que ocorreram ao longo desse período de doutorado. Agradeço pela confiança no meu trabalho e pela motivação frequentes.

À Prof.^a Dr.^a Simone Machado Santos, por ter acreditado na realização desta pesquisa e pela orientação clara que permitiu obter esses resultados e superar os desafios que surgiram no caminho. Obrigada Simone, me ensinar sobre compreensão, objetividade e resolução.

À Prof.^a Dr.^a Lourdinha Florêncio, por quem sempre nutri grande respeito e admiração. E ainda mais, pelas valiosas sugestões que nortearam a escolha do tema e desenvolvimento deste estudo.

À Prof.^a Dr.^a Elizabeth Pastich pelas importantes observações na participação da qualificação da tese de doutorado.

À Prof.^a Dr.^a Maria do Carmo Sobral e à Prof.^a Dr.^a Sália Gavazza, professoras do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil; e a Prof.^a Dr.^a Josiclêda Domiciano Galvêncio, professora do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, com quem aprendi conteúdos que estão aplicados neste trabalho.

Aos membros da banca de defesa do doutorado, Prof.^a Dr.^a Maria do Carmo Sobral, Prof. Dr. Paulo Belli Filho, Prof.^a Dr.^a Vanice Santiago Fragoso Selva, Prof.^a Dr.^a Juliana Cardoso de Moraes, Prof. Dr. José Roberto Santo de Carvalho por todas as recomendações para o aperfeiçoamento desta pesquisa.

A todos os professores que eu tive na vida, que contribuíram com a minha formação desde a mais tenra infância. O valor de um mestre é incomensurável.

À Andréa, Cleide, Claudiana e Juliana, o time de excelência da secretaria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, pela recepção acolhedora, orientações e pronto-atendimento durante o curso.

A todos que fazem o Laboratório de Saneamento Ambiental, em especial à Ronaldo, Luiz, Dan, Iago, Ida, Celinha e Marcus.

À Universidade Federal de Pernambuco, pelo ensino público e de qualidade que tive acesso.

Aos gestores, técnicos e administrativos da Prefeitura de Pau dos Ferros, especialmente ao Secretário de Meio Ambiente, Edson Rêgo (*in memoriam*), pela receptividade, apoio e disponibilidade de informações necessárias ao desenvolvimento deste estudo.

À amiga, Geógrafa e Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Franciele Araújo pela paciente e primorosa ajuda na elaboração dos produtos cartográficos.

Aos amigos, Prof. Dr. Rodrigo Passos, Prof.^a Dr.^a Thaís Cristina de Souza e Prof.^a Dr.^a Joseane Dunga da Costa pelo auxílio indispensável na saga para o processamento dos resultados com o uso da estatística multivariada.

À Universidade Federal Rural do Semi-Árido, campus Pau dos Ferros, particularmente nas pessoas do diretor Alexsandro Lima e da coordenadora Josy Eliziane Torres Ramos, quando do meu ingresso na instituição.

Ao Grupo de Pesquisa de Estudos em Saneamento Ambiental no Semiárido, pela ativa participação na obtenção de parte dos dados que subsidiaram esta tese.

À população local, que se dispôs a contribuir com a pesquisa e que entenderam o objetivo do presente trabalho para a cidade de Pau dos Ferros.

Aos amigos de Pau dos Ferros, Jane, Moisés, Daniel, Jennef, Nirraria, pela comunhão de fé, pelos valores compartilhados, pelas conversas enriquecedoras e pela amizade estabelecida.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, particularmente nas pessoas da reitora Prof.^a Dr.^a Maria José de Sena, da diretora Prof.^a Dr.^a Rosângela Gomes Tavares, da Prof.^a Dr.^a Gerla Castello Branco Chinelatte e do Prof. Dr. André Felipe Sales, que tanto me auxiliaram no período da redistribuição.

À Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, na pessoa da Prof.^a Dr.^a Milene Gomes, pelo entendimento e estímulo nessa fase final.

“O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001”.

A todos, o meu muito obrigada!

Quantas maravilhas realizaste, meu Deus.

Quantos projetos em nosso favor.

Ninguém se compara a ti!

Quero anunciá-los, falar deles.

Mas ultrapassam qualquer conta.

(SALMOS 39, 6)

RESUMO

Este estudo mostra, pela primeira vez, a aplicação do Indicador de Salubridade Ambiental – ISA a partir da geoespacialização de vinte bairros, em uma área urbana semiárida do Brasil e sua relação com notificações de casos e óbitos por COVID-19. As informações sobre as condições sanitárias foram obtidas por meio de órgãos oficiais e de extensa pesquisa domiciliar, nos anos de 2019 e 2020. Os dados de COVID-19 foram extraídos dos boletins epidemiológicos emitidos pela Secretaria de Saúde estadual (RN), no período de maio de 2020 a abril de 2021. A estatística descritiva foi usada para análise dos resultados, a estatística multivariada para avaliar a correlação entre ISA e COVID-19, e um Sistema de Informações Geográficas (QGIS) para geoespacialização dos achados. A pontuação média do ISA em Pau dos Ferros foi $0,30 \pm 0,03$, que o categorizou como de baixa salubridade e como município que teve o pior ISA entre as aplicações no semiárido brasileiro. O ISA de 90% dos bairros, em Pau dos Ferros, foi classificado como baixa salubridade, e de 10%, como insalubres, com populações que variaram de 214 a 6.464 habitantes. A intermitência no abastecimento de água, o colapso da barragem local, a rede deficitária de coleta e tratamento de esgotos e a presença de um vazadouro a céu aberto para disposição dos resíduos sólidos, foram a causa de nenhum dos bairros avaliados ter sido considerado salubre ou com média salubridade. Quanto à associação dos indicadores de COVID-19 com o ISA, não foram estabelecidos padrões de correlação positiva nem negativa, com base no conjunto de dados analisado. Isoladamente, os dois indicadores foram bem explicados em duas componentes principais. A taxa de letalidade da COVID-19, em todos os bairros, ficou abaixo da média nacional. A adoção precoce de medidas restritivas e os aspectos meteorológicos e socioeconômicos de Pau dos Ferros, podem explicar a menor transmissão local. Os resultados mostraram que a salubridade ambiental é fator preponderante no controle da pandemia, mas que não é o único elemento causal a ser investigado na ocorrência de casos e óbitos por COVID-19. Finalmente, os achados da pesquisa podem servir como um instrumento para priorização de programas saúde e infraestrutura urbana básica em função do ISA, conforme preconizado no Plano Nacional de Saneamento Básico.

Palavras-chave: índice de salubridade ambiental; higidez ambiental; saneamento ambiental; saúde ambiental; novo coronavírus; SARS-Cov-2.

ABSTRACT

This study shows, for the first time, the application of the Environmental Health Indicator – ISA based on the geo-spatialization of twenty neighborhoods in a semi-arid urban area in Brazil and its relationship with notifications of cases and deaths by COVID-19. Information on sanitary conditions was obtained through official agencies and extensive household surveys, in the years 2019 and 2020. COVID-19 data were extracted from epidemiological bulletins issued by the state Health Department (RN), in the period of May 2020 to April 2021. Descriptive statistics was used to analyze the results, multivariate statistics to assess the correlation between ISA and COVID-19, and a Geographic Information System (QGis) to geospatialize the findings. The mean ISA score in Pau dos Ferros was 0.30 ± 0.03 , which categorized it as having low health and as the municipality that had the worst ISA among applications in the Brazilian semi-arid region. The ISA of 90% of the neighborhoods in Pau dos Ferros was classified as low health, and 10% as unhealthy, with populations ranging from 214 to 6,464 inhabitants. Intermittency in the water supply, the collapse of the local dam, the deficient sewage collection and treatment network and the presence of an open-air dump for the disposal of solid waste, were the reason why none of the evaluated neighborhoods was considered healthy or with average health. As for the association of COVID-19 indicators with the ISA, no positive or negative correlation patterns were established, based on the analyzed data set. Separately, the two indicators were well explained in two main components. The lethality rate of COVID-19, in all neighborhoods, was below the national average. The early adoption of restrictive measures and the meteorological and socioeconomic aspects of Pau dos Ferros may explain the lower local transmission. The results showed that environmental health is a preponderant factor in controlling the pandemic, but that it is not the only causal element to be investigated in the occurrence of cases and deaths from COVID-19. Finally, the research findings can serve as an instrument for prioritizing health programs and basic urban infrastructure based on the ISA, as recommended in the National Basic Sanitation Plan.

Keywords: environmental healthy index; environmental healthiness; environmental sanitation; environmental health; new coronavirus; SARS-CoV-2.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Estados do Brasil com ISA	40
Figura 2 –	Mapa conceitual da pesquisa	55
Figura 3 –	Localização da área urbana de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil e sua divisão territorial por bairro	62
Figura 4 –	Distribuição espacial dos indicadores ISA, I_{SAN} e I_{SAU}	88
Figura 5 –	Barragem de Pau dos Ferros atinge volume morto, no Rio Grande do Norte, Brasil	99
Figura 6 –	Registro de peixes mortos na barragem de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	98
Figura 7 –	Disposição de esgoto doméstico à céu aberto em rua no bairro de Nova Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	107
Figura 8 –	Avarias no calçamento e meio-fio em rua no bairro São Benedito, em Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	113
Figura 9 –	Lixão de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	113
Figura 10 –	Residências no lixão de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	114
Figura 11 –	Gráfico <i>boxplot</i> com informações de primeiro quartil, máximo, média, mínimo e terceiro quartil dos indicadores de 2ª ordem I_{AB} , I_{ES} , I_{RS} , I_{CV} , I_{RH} , I_{SE} e de 1ª ordem ISA dos 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	123
Figura 12 –	Cartograma da ambiental da classificação de salubridade ambiental do I_{AB} , I_{ES} , I_{RS} , I_{CV} , I_{RH} e I_{SE} nos 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	124
Figura 13 –	Cartograma da salubridade ambiental, dos casos confirmados e óbitos por COVID-19 nos bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	127
Figura 14 –	ISA e taxa de letalidade da COVID-19 para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	128
Figura 15 –	Mapa perceptual da ordenação dos vetores das variáveis de COVID-19 e ISA nas duas componentes principais	134

Figura 16 –	Mapa perceptual da ordenação dos vetores das variáveis I_{AB} , I_{ES} , I_{SE} , $COV - C$ e $COV - O$ (PC1) e I_{AB} , I_{RS} e $COV - O$ (PC2)	137
Figura 17 –	Mapa perceptual da ordenação dos vetores das variáveis EAN , EAL , EMD , ESP , $EPG RMSM$, $R1SM$ e $R3SM$	141
Figura 18 –	Mapa perceptual dos vetores das variáveis da COVID-19 e ISA	142
Figura 19 –	Distribuição dos bairros de Pau dos Ferros no 1º, 2º, 3º e 4º quadrantes	146

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	ISA aplicado a nível de Brasil	39
Quadro 2 –	ISA aplicado em localidades do semiárido brasileiro	41
Quadro 3 –	ISA aplicado em localidades da Região Norte do Brasil	44
Quadro 4 –	ISA aplicado em localidades da Região Nordeste do Brasil	45
Quadro 5 –	ISA aplicado em localidades da Região Centro-Oeste do Brasil	48
Quadro 6 –	ISA aplicado em localidades da Região Sudeste do Brasil	49
Quadro 7 –	ISA aplicado em localidades da Região Sul do Brasil	51
Quadro 8 –	Descrição, objetivo e meio utilizado em cada etapa da pesquisa ...	55
Quadro 9 –	Condução de revisão para execução da pesquisa	58
Quadro 10 –	Variável e pergunta no questionário aos indicadores de 2ª ordem ISA	66
Quadro 11 –	Fase, etapa e finalidade da técnica de dramatização para o levantamento de dados primários nos bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	67
Quadro 12 –	Fase, etapa e finalidade do controle de qualidade da aplicação	67
Quadro 13 –	Indicadores de 2ª e 3ª ordem e respectivos critérios de cálculo, finalidade dos indicadores de 3ª ordem, natureza dos dados e as fontes das informações adotados para o cálculo do ISA em Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	70
Quadro 14 –	Indicadores utilizados na PCA	76
Quadro 15 –	Grupos de correlação analisados na PCA	78
Quadro 16 –	Uso dos indicadores ISA encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão	81
Quadro 17 –	Uso dos indicadores I_{SAN} encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão	84
Quadro 18 –	Uso dos indicadores I_{SAU} encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão	99
Quadro 19 –	Divisão setorial para o abastecimento de água em Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	102
Quadro 20 –	Rotas da coleta de resíduos sólidos em Pau dos Ferros, Rio	

	Grande do Norte, Brasil	108
Quadro 21 –	Ocorrência de esquistossomose nos bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	117
Quadro 22 –	Ocorrência de leptospirose nos bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Valor do escore z em função do nível de confiança desejado	64
Tabela 2 –	Crerios de cálculo do tamanho da amostra estratificada	64
Tabela 3 –	Bairro, código e intervalo de questionários da aplicação em Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	68
Tabela 4 –	População equivalente estimada, população equivalente estimada corrigida e população equivalente estimada em relação a população total de Pau dos Ferros para 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	74
Tabela 5 –	Faixa de pontuação do ISA em função do nível de salubridade ambiental	75
Tabela 6 –	Dados de cálculo do I_{CA} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	96
Tabela 7 –	Parâmetros de monitoramento da qualidade de água e respectivas quantidades de amostras mínimas obrigatórias, analisadas e em conformidade de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	97
Tabela 8 –	Situação da barragem de Pau dos Ferros de janeiro de 2019 a janeiro de 2020	100
Tabela 9 –	Indicador de abastecimento de água e respectiva classificação de salubridade ambiental dos 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	103
Tabela 10 –	Dados de cálculo do I_{CE} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	105
Tabela 11 –	Dados de cálculo do I_{ES} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	109
Tabela 12 –	Dados de cálculo do I_{CR} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	110

Tabela 13 –	Dados de cálculo do I_{RS} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	115
Tabela 14 –	Dados de cálculo do I_{CV} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	119
Tabela 15 –	Dados de cálculo do I_{SE} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	121
Tabela 16 –	Dados de cálculo do ISA e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil	122
Tabela 17 –	Variância explicada e acumulada das componentes principais	131
Tabela 18 –	Autovetores das PC1 e PC2	132
Tabela 19 –	Variância explicada e total das PCs	134
Tabela 20 –	Autovetores das PC1, PC2 e PC3	135
Tabela 21 –	Variância explicada e total das componentes principais	137
Tabela 22 –	Autovetores das PC1, PC2, PC3 e PC4	138
Tabela 23 –	Ranqueamento e agrupamento dos bairros em função da proximidade de pontuação do ISA	143
Tabela 24 –	Bairros de Pau dos Ferros, padrão 1	144
Tabela 25 –	Bairros de Pau dos Ferros, padrão 2	144
Tabela 26 –	Bairros de Pau dos Ferros, padrão 3	145
Tabela 27 –	Bairros de Pau dos Ferros, padrão 4	146

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AL	Alagoas
ANA	Agência Nacional de Águas
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte
CE	Ceará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONESAN	Conselho Estadual de Saneamento
COVID-19	<i>Coronavirus Disease 2019</i>
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
I _{AB}	Indicador de Abastecimento de Água
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
I _{CA}	Indicador de Cobertura de Abastecimento
I _{CE}	Indicador de Coleta de Esgotos e Tanques Sépticos
I _{CR}	Indicador de Coleta de Resíduos
I _{CV}	Indicador de Controle de Vetores
I _{ED}	Indicador de Educação
I _{ES}	Indicador de Esgotamento Sanitário
I _{QA}	Indicador de Qualidade de Água Distribuída
I _{RF}	Indicador de Renda
I _{RH}	Indicador de Recursos Hídricos
I _{RS}	Indicador de Resíduos Sólidos
ISA	Indicador de Salubridade Ambiental
I _{SA}	Indicador de Saturação do Sistema Produtor de Água
I _{SE}	Indicador Socioeconômico
ITB	Instituto Trata Brasil
I _{TE}	Indicador de Tratamento de Esgotos e Tanques Sépticos
I _{TR}	Indicador de Tratamento de Resíduos
I _{VD}	Indicador de Dengue
I _{VE}	Indicador de Esquistossomose
MG	Minas Gerais
O _{DS}	Objetivo do Desenvolvimento Sustentável
PA	Pará

PB	Paraíba
PC	<i>Principal Component</i>
PCA	<i>Principal Component Analysis</i>
PE	Pernambuco
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNSB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PR	Paraná
RJ	Rio de Janeiro
RN	Rio Grande do Norte
SADE	Sistema de Apoio à Decisão Espacial
SARS-CoV-2	<i>Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2</i>
SE	Sergipe
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SNIS	Sistema Nacional de Informações do Saneamento
SP	São Paulo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
1.1	PERGUNTA DA PESQUISA	25
1.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE A ESCOLHA DA TESE	26
1.3	OBJETIVOS	27
1.3.1	Objetivo geral	29
1.3.2	Objetivos específicos	29
1.4	LIMITAÇÕES DA CONSTRUÇÃO DA TESE	28
1.5	ESTRUTURA DA TESE	29
1.6	APRESENTAÇÃO DA AUTORA	29
2	REVISÃO DA LITERATURA	29
2.1	SANEAMENTO E SAÚDE AMBIENTAL	29
2.1.1	Indicadores ambientais	29
2.1.1.1	Uso de geoespacialização	36
2.1.1.2	Relação com a COVID-19	36
2.2	SALUBRIDADE AMBIENTAL	36
2.2.1	Indicador de Salubridade Ambiental – ISA	36
2.2.1.1	Utilização do ISA no Brasil	37
2.2.1.1.1	<i>ISA no nível da federação</i>	<i>39</i>
2.2.1.1.2	<i>ISA em nível climático</i>	<i>42</i>
2.2.1.1.3	<i>ISA em nível regional</i>	<i>44</i>
3	METODOLOGIA	52
3.1	CONFIGURAÇÃO DA PESQUISA	53
3.2	MAPA CONCEITUAL	53
3.3	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	56
3.3.1	Estratégia de pesquisa	56
3.3.2	Protocolo da revisão	57
3.3.3	Condução da revisão	58
3.3.4	Avaliação e extração dos dados	59
3.3.5	Sumarização dos resultados	60
3.4	ÁREA DE ESTUDO	60
3.5	OBTENÇÃO E SELEÇÃO DE DADOS	63
3.5.1	Dados primários	63

3.5.1.1	População e amostra	63
3.5.1.2	Tamanho da amostra	64
3.5.1.3	Instrumento e variáveis	65
3.5.1.4	Seleção e treinamento dos aplicadores	66
3.5.1.5	Estudo piloto	67
3.5.1.6	Processamento dos dados	67
3.5.1.7	Aspectos éticos	68
3.5.2	Dados secundários	69
3.5.2.1	Notificações de COVID-19	69
3.5.2.2	Informações cartográficas	69
3.6	COMPOSIÇÃO, CÁLCULO E CLASSIFICAÇÃO DO ISA	70
3.7	ANÁLISE DOS DADOS	75
3.7.1	Elaboração dos produtos cartográficos	74
3.7.2	Estatística descritiva	74
3.7.3	Estatística multivariada	75
3.8	DIVULGAÇÃO DOS RESULTADOS	79
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	80
4.1	INDICADORES CONJUNTOS DE SANEAMENTO E SAÚDE ...	80
4.1.1	Indicador de Salubridade Ambiental – ISA	79
4.1.2	Indicador de Saneamento Ambiental – I_{SAN}	82
4.1.3	Indicador de Saúde Ambiental – I_{SAU}	84
4.1.4	Distribuição espacial dos indicadores ISA, I_{SAN} e I_{SAU}	86
4.2	INDICADOR DE SALUBRIDADE AMBIENTAL	94
4.2.1	Abastecimento de água e recursos hídricos	91
4.2.1.1	Indicador de Cobertura de Abastecimento de Água – I _{CA}	91
4.2.1.2	Indicador de Qualidade de Água – I _{QA}	94
4.2.1.3	Indicador de Saturação do Sistema Produtor-Qualidade – I _{SA}	96
4.2.1.4	Indicador de Abastecimento de Água – I _{AB}	100
4.2.2	Esgotamento sanitário	101
4.2.2.1	Indicador de Cobertura em Coleta de Esgoto – I _{CE}	102
4.2.2.2	Indicador de Esgoto Tratado e Tanques Sépticos – I _{TE} e Indicador de Saturação de Esgoto – I _{SE}	104
4.2.2.3	Indicador de Esgotamento Sanitário – I _{ES}	105

4.2.3	Resíduos Sólidos	106
4.2.3.1	Indicador de Coleta de Resíduos Sólidos – I_{CR}	106
4.2.3.2	Indicador de Tratamento e Saturação de Resíduos Sólidos – I_{QR} e I_{SR}	109
4.2.3.3	Indicador de Resíduos Sólidos – I_{RS}	111
4.2.4	Controle de vetores	112
4.2.4.1	Indicador de Dengue – I_{VD}	112
4.2.4.2	Indicador de Esquistossomose – I_{VE}	113
4.2.4.3	Indicador de Leptospirose – I_{VL}	114
4.2.4.4	Indicador de Controle de Vetores – I_{CV}	114
4.2.5	Condição socioeconômica	116
4.2.5.1	Indicador de Saúde Pública – I_{SP}	116
4.2.5.2	Indicador de Renda – I_{RF}	116
4.2.5.3	Indicador de Escolaridade – I_{ED}	116
4.2.5.4	Indicador Socioeconômico – I_{SE}	117
4.2.6	Indicador de Salubridade Ambiental – ISA	118
4.2.6.1	Análise dos ISAs aplicados no semiárido do Brasil	121
4.4	AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE ISA E COVID-19	127
4.4.1	Geoespacialização do ISA, casos confirmados e óbitos por COVID-19	123
4.4.2	Análise de Componente Principal – PCA	127
4.4.2.1	Correlação entre ISA e COVID-19	127
4.4.2.2	Correlação indicadores de 2ª ordem e COVID-19	130
4.4.2.3	Correlação ISA, COVID -19, e escolaridade e renda	133
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	147
6	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	149
	REFERÊNCIAS	150
	APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO	174
	APÊNDICE B – ARTIGO 1	176

1 INTRODUÇÃO

As preocupações sobre as condições ambientais associadas à saúde datam dos primórdios da humanidade, mas foi a partir da segunda metade do século XX, que a relação saneamento-saúde-meio ambiente passou a ser investigada por cientistas, que confirmaram que a prevenção dos problemas de saúde humana e ambiental sempre envolveram, majoritariamente, as estruturas pertinentes ao saneamento (STAUBER et al., 2018; SILVA et al., 2017; RIBEIRO, 2004; HELLER, 1998).

O saneamento básico é reconhecido, internacionalmente, como um direito humano (ONU, 2010) e um importante indicador do estágio de desenvolvimento de uma localidade (COSTA et al., 2020). No Brasil, é um direito previsto pela Lei nº 11.445/2007, conhecida como Lei do Saneamento Básico (BRASIL, 2007).

Pouco depois de uma década da Lei do Saneamento Básico entrar em vigor em território nacional, houve melhoras no setor, mas cerca de metade dos brasileiros, ainda vive sem acesso aos sistemas de esgotamento sanitário, que equivale ao lançamento por dia, de quase seis mil piscinas olímpicas de efluentes sem prévio tratamento (ITB, 2018). A Lei do Saneamento Básico foi alterada e atualizada pela Lei nº 14.026/2020, conhecida como Lei do Marco do Saneamento (BRASIL, 2020).

O acesso aos serviços de saneamento básico (abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta/tratamento/disposição final de resíduos sólidos e drenagem urbana) se constitui em uma medida-chave para a profilaxia de doenças (FERREIRA; SILVA; FIGUEIREDO FILHO, 2021; WHO, 2020). A ocorrência de enfermidades que matam milhões de pessoas todos os anos, muitas vezes está associada à inadequação dos sistemas de saneamento e às condições precárias de higiene (KITAJIMA et al., 2020; ALAGIDEDE; ALAGIDEDE, 2016; DALEY et al., 2015).

No Brasil, aproximadamente 100 milhões de pessoas não têm acesso à coleta de esgoto e, entre as 100 maiores cidades do país, somente 18 delas realizam o tratamento de mais de 80% das águas residuárias que produzem (ITB, 2020). Em zonas mais afastadas dos grandes centros, a relação saneamento-saúde-meio ambiente é bem mais precária e também pouco estudada.

Na região semiárida, sobretudo de países em desenvolvimento, as circunstâncias sanitárias de algumas cidades evidenciam uma vulnerabilidade ainda maior devido, sobretudo, à escassez de água e aos riscos de contaminação hídrica (RANAEE et al., 2021; ANASTASOPOULOU et al., 2018; TRAORÉ et al., 2013). Como resultado, tem-

se o surgimento de doenças e epidemias, diretamente relacionadas à falta de acesso da população aos serviços de saneamento (PARIKH et al., 2020; SOARES et al., 2014).

A salubridade ambiental consiste na qualidade ambiental adequada capaz de prevenir doenças veiculadas pelo meio ambiente e de promover melhoria das condições mesológicas favoráveis à saúde da população urbana e rural (CONESAN, 1999).

Um modo de mensurar, de forma precisa e sintética, as complexas variáveis que correlacionam os sistemas ambientais e a salubridade, são os indicadores (BERNARDES; BERNARDES; GÜNTHER, 2017; PINTO et al., 2016). Os indicadores se mostram como ferramentas eficazes para a governança do saneamento e na tomada de decisão pelos gestores para implementação de políticas públicas efetivas (VALONES et al., 2022; ROCHA; RUFINO; BARROS FILHO, 2019).

Entre os indicadores ambientais, cita-se um genuinamente brasileiro, o Indicador de Salubridade Ambiental – ISA, que avalia as condições de higiene ambiental de uma determinada região por meio de informações dos serviços de saneamento (LIMA; ARRUDA; SCALIZE, 2019).

O ISA permite adaptações em sua formulação original, com base no uso e aplicação pretendidos (BILMAYER; MEZZOMO; GONÇALVES, 2020; KOBREN et al., 2019; SANTOS; FERREIRA, 2016; BASTOS et al., 2014; DIAS, 2004; ALMEIDA, 1999). Em poucas pesquisas houve a integração de métodos de Sistema de Informações Geográficas – SIG para apresentar efetivamente os dados do ISA e servir como um Sistema de Apoio à Decisão Espacial – SADE, mediante a geoespacialização da informação (ROCHA; RUFINO; BARROS FILHO, 2019; BATISTA; DA SILVA, 2006).

Desde a criação do ISA em 1999, pelo Conselho Estadual de Saneamento de São Paulo – CONESAN, já foi possível mensurá-lo em mais de 100 áreas no Brasil (BRAGA; BEZERRA; SCALIZE, 2022; GAMA et al., 2022; RODRIGUES JÚNIOR, 2022; SOARES; MENEZES FILHO, 2021; BILMAYER; MEZZOMO; GONÇALVES, 2020; BRUSTIN et al., 2020; LIMA et al., 2019; ROCHA; RUFINO; BARROS FILHO, 2019; TEIXEIRA; PRADO FILHO; SANTIAGO, 2018; SANTOS; FERREIRA, 2016; VALVASSORI; ALEXANDRE, 2012; ALMEIDA, 1999).

Uma extensa pesquisa sobre indicadores conjuntos de saneamento e saúde ambiental, e de salubridade ambiental, em países emergentes, resultou em uma revisão sistemática da literatura, que mostrou o escasso número de estudos na região semiárida do Brasil (VALONES et al., 2022; TEIXEIRA; PRADO FILHO; SANTIAGO, 2018).

Dos 1.427 municípios que constituem o semiárido brasileiro (CONDEL/SUDENE, 2021), apenas Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte (PEIXOTO et al., 2018); Caruaru (DUARTE; BEZERRA; GONÇALVES, 2020) e Macaparana (MOURA; MORAIS, 2019), no estado de Pernambuco; Itaguaçu, no estado da Bahia (CUNHA, 2012); Propriá (RODRIGUES JUNIOR, 2021) e Ilha do Ouro (NERI, 2005), no estado de Sergipe; Beberibe, no estado de Ceará (LIMA, 2021); e Campina Grande, no estado da Paraíba (PEDROSA; MIRANDA; RIBEIRO, 2016), tiveram seus respectivos ISAs calculados.

A pandemia, decorrente da disseminação da doença do novo coronavírus – COVID-19 e experimentada por todo o mundo, desde março de 2020, reafirmou a importância do acesso ao saneamento básico para a saúde pública (COSTA et al., 2020; WHO, 2020; NETTO; CORRÊA, 2020).

Pesquisadores constataram a relevância dos fatores ambientais e do saneamento como elementos essenciais para minimizar a propagação do SARS-Cov-2 (MIRAHMADIZADEH et al., 2022; CHERNICHARO; AYRIMORAES, 2021; GWENZI, 2021; HELLER; MOTA; GRECO, 2020; ODIH et al., 2020). Entre as medidas sanitárias, amplamente recomendadas para controlar a transmissão do novo coronavírus, está a lavagem frequente das mãos com água limpa e sabão (DONDE et al., 2021; WHO, 2020).

Tomando por base as premissas apresentadas, este estudo foi pioneiro em avaliar a salubridade ambiental por meio da aplicação do ISA e SIG em vinte bairros, de uma área urbana no semiárido do Brasil, o município de Pau dos Ferros (RN).

1.1 PERGUNTA DA PESQUISA

A partir da hipótese que o uso do Indicador de Salubridade Ambiental georeferenciado na área urbana de um município do semiárido pode contribuir para definição de políticas públicas que visem a melhoria da saúde e bem-estar da população emergem as seguintes questões: quais as aplicações do ISA realizadas na região semiárida do Brasil? Qual a situação da salubridade ambiental da área urbana de Pau dos Ferros, em nível de bairro? Quais os bairros da cidade que requerem ações de salubridade ambiental mais urgentes por parte do poder público local? A salubridade ambiental dos bairros influencia na ocorrência da COVID-19 nesses locais?

1.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A ESCOLHA DA TESE

O ISA foi o indicador adotado neste estudo, em função de sua capacidade de mensurar a realidade estudada, por possuir adaptação em sua formulação de modo a capturar as peculiaridades dos locais em que é aplicado, tendo sido um instrumento utilizado em dezenas de lugares do país, mas pouco empregado em municípios do semiárido do Brasil.

Deste modo, a zona urbana do município de Pau dos Ferros, por estar localizada no semiárido nordestino, foi selecionada para o desenvolvimento da pesquisa, como também em função de sua importância regional.

A cidade tem uma posição geográfica central, que é rota de ligação entre municípios do estado da Paraíba e do Ceará, razão que a classificou como Centro Sub-regional (IBGE, 2018). E também por exercer um destacado protagonismo econômico na mesorregião do Alto Oeste Potiguar liderando uma microrregião com 118.003 habitantes (IBGE, 2021).

O município concentra uma oferta variada de serviços bancários, educacionais, de saúde e comerciais, oferecendo assistência a mais de 30 cidades do entorno, motivo que explica, a presença de uma constante população flutuante em sua área urbana (SOUTO, SOUSA JÚNIOR e LIMA JÚNIOR, 2019). Em 2010, a estimativa era de que cerca de cinco mil pessoas passavam por dia pelo município (DANTAS, CLEMENTINO e FRANÇA, 2015).

A escala territorial determinada para o estudo foi em nível de bairro, que buscou compreender, se os fatores avaliados de salubridade ambiental, se diferenciavam em espaços de um mesmo município.

Um SIG foi usado para espacializar a informação, de forma a otimizar o entendimento sobre a existência ou não de disparidades da salubridade ambiental entre os bairros e possibilitar a visualização panorâmica da área urbana de Pau dos Ferros. O cenário por bairro obtido a partir da geoespacialização concede de forma pioneira o retrato da realidade com vistas a uma atuação melhor direcionada do poder público na tomada de decisão pública para estes espaços. A geoespacialização é capaz de mostrar as fragilidades e potencialidades de cada área da salubridade ambiental por bairro.

A dupla indicador-geoespacialização torna-se um potente instrumento que auxilia a tomada de decisão pelos gestores e direciona a adoção de políticas públicas adequadas com o contexto local para as áreas prioritárias.

Com a situação de emergência sanitária provocada pela disseminação do SARS-CoV-2, a relevância desta pesquisa aumentou, pois se o volume de publicações sobre as condições de salubridade ambiental no semiárido já era reduzido, ainda mais limitado era o número de trabalhos que estudasse a relação da saúde ambiental com o comportamento da COVID-19 nessas regiões. Tanto pela pandemia ser um evento recente na história da humanidade, como pela dificuldade do acesso às informações e ao estudo local no semiárido.

1.3 OBJETIVOS

Os objetivos da tese estão organizados em dois tópicos: 1.3.1 Geral e 1.3.2 Específicos, a seguir apresentados.

1.3.1 Objetivo geral

Aplicar o Indicador de Salubridade Ambiental, georreferenciado na escala de bairro, na área urbana do município de Pau dos Ferros (RN), analisando sua relação com notificações de casos e óbitos por COVID-19.

1.3.2 Objetivo específicos

- Diagnosticar o i) abastecimento de água, ii) coleta e tratamento de esgotos sanitários; iii) coleta, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos; iv) disponibilidade dos recursos hídricos; v) controle de vetores; e vi) aspectos socioeconômicos.
- Avaliar se a salubridade ambiental se diferencia em bairros de um mesmo município.
- Examinar o desempenho dos indicadores de 2ª e 3ª ordem no resultado do Indicador de Salubridade Ambiental.
- Quantificar, agrupar e analisar as notificações de casos confirmados e óbitos por SARS-Cov-2.
- Mapear, por bairro, a salubridade ambiental e a ocorrência de registros por COVID-19.

1.4 LIMITAÇÕES DA CONSTRUÇÃO DA TESE

Esta pesquisa tem muitos pontos fortes, incluindo uma amostra grande, estatisticamente confiável, de levantamento pioneiro de dados de saneamento, em nível de bairro, na cidade de Pau dos Ferros. E é o primeiro estudo a examinar a situação da salubridade ambiental em uma área urbana, de um município no semiárido brasileiro, e avaliar sua relação com a ocorrência da COVID-19.

Apesar desses pontos fortes, esta tese tem algumas limitações. Primeiro, este trabalho foi geograficamente limitado aos bairros da área urbana de Pau dos Ferros, cuja população era predominantemente de renda e escolaridade baixas. Deste modo, os achados podem não ser generalizáveis para outras localidades ou grupos.

Como a maior parte dos dados deste estudo se baseia na opinião popular sobre saneamento, mesmo com explicações prévias, tanto o viés de falta de conhecimento, como de desejo social é possível. Além de tais pontos, outros fatores limitantes para a realização desta pesquisa são citados:

O extenuante trabalho para a busca e a articulação de um conjunto de dados que envolve diversos indicadores de 1ª, 2ª e 3ª ordem e seu equivalente grau de complexidade para obtenção da informação, em nível de bairro, para representação mais fidedigna da realidade.

A dificuldade de acesso aos dados de esgotamento sanitário por parte da concessionária de saneamento local.

A ausência ou desatualização dos poucos dados de saneamento existentes nos arquivos do poder público municipal.

A incompatibilidade de horários, na fase da revisão dos questionários, para acessar novamente as pessoas participantes da pesquisa.

A ocorrência da emergência sanitária de âmbito global, que impediu a continuidade do levantamento dos dados primários em dois bairros da cidade de Pau dos Ferros.

A limitação no acesso aos dados da pandemia da COVID-19, em Pau dos Ferros, ao período de 2020-2021.

1.5 ESTRUTURA DA TESE

Esta tese de doutorado está estruturada em seis capítulos, abaixo identificados e explicados.

Capítulo I: se refere à introdução, apresenta a pergunta da pesquisa, descreve a escolha da tese, mostra os objetivos geral e específicos e explica as limitações da tese.

Capítulo II: traz a revisão da literatura (fundamentação teórica), sobre saneamento e saúde ambiental, indicadores, uso da geoespacialização e análise multivariada, relação com a COVID-19, com destaque em salubridade ambiental, respectivo indicador e aplicações no Brasil.

Capítulo III: detalha os procedimentos metodológicos usados e as etapas desenvolvidas para a revisão sistemática, estatística descritiva e multivariada, geoespacialização, aplicação do ISA e comparação com as notificações de COVID-19.

Capítulo IV: apresenta os resultados obtidos na revisão sistemática; na determinação do ISA por bairro; e em sua relação com notificações de casos e óbitos por COVID-19, com uso de um Sistema de Informações Geográficas e da Análise de Componentes Principais. Também são feitas as discussões, comparando o nível de salubridade entre as diversas aplicações do ISA realizadas no Brasil.

Capítulo V: trata das considerações finais.

Capítulo VI: tece as recomendações para futuros trabalhos.

1.6 APRESENTAÇÃO DA AUTORA

A autora é professora do Magistério Superior no Curso de Engenharia de Alimentos na Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – Ufape. É graduada em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE (2012); bem como, em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Pernambuco – IFPE (2014). É mestre (2015) e doutoranda (em curso) em Engenharia Civil, na área de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pernambuco UFPE. Lidera no Diretório de Grupo de Pesquisas do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – DGP/CNPq, o Grupo de Estudos em Saneamento Ambiental no Semiárido – ESAS da Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Integra o Grupo de Saneamento Ambiental – GSA da UFPE e o Grupo

de Estudos em Engenharia, Meio Ambiente e Geotecnologias – GEEMAG da UFERSA. É revisora da Revista Geama (UFRPE). Atua na área de Saúde e Saneamento Ambiental, Índice de Salubridade Ambiental, Tratamento de Águas Residuárias, Tratamento de Efluentes Industriais, Processos Físico-Químicos e Microbiológicos para o Tratamento de Água e Esgotos, Pós-tratamento, Remoção de Matéria Orgânica, de Nitrogênio e de Contaminantes Emergentes.

2 REVISÃO DA LITERATURA

A seguir são apresentados conceitos e estudos científicos que subsidiaram o desenvolvimento desta pesquisa e a temática abordada nesta tese de doutorado.

2.1 SANEAMENTO E SAÚDE AMBIENTAL

O saneamento é uma necessidade de todas as pessoas e, deste modo, requer acesso universal (MITRA; NARAYAN; LÜTHI, 2022). Classicamente, o saneamento básico consiste nos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e resíduos sólidos. Este conceito foi ampliado, passando a usualmente ser chamado de saneamento ambiental, por também abarcar ações no âmbito do meio ambiente natural urbano e da saúde pública (BUDGE et al., 2022).

A saúde ambiental é uma parte da saúde pública que envolve os aspectos físicos, químicos, biológicos, sociais e psicológicos em torno do ser humano que podem influenciar a sua saúde e o seu bem-estar (OMS, 2006). O saneamento e a saúde, desde os tempos mais remotos, possuem uma intrínseca e complexa relação (ALMEIDA; COTA; RODRIGUES, 2020).

Estudos diversos mostram que o acesso à água tratada, saneamento e higiene podem reduzir a mortalidade (particularmente, a infantil), o contágio por doenças e melhorar a qualidade de vida, em países de baixa e média renda (MAINA et al., 2019; WINTER et al., 2018; GEZEHEGN et al., 2017; KUMAR et al., 2016). Por esta razão, há perigo iminente de adoecimento para pessoas que não possuem acesso à água potável e têm franco contato com esgotos (MOURA; PROCOPIUCK, 2020).

A precariedade dos serviços de saneamento básico pode acarretar o comprometimento da salubridade ambiental e da vida humana (GRANGEIRO; RIBEIRO; MIRANDA, 2020). Sendo as crianças as mais vulneráveis e propensas ao contágio de doenças transmitidas pela água em situação de infraestrutura sanitária deficiente (BITEW et al., 2017; CHA et al., 2017; ORTIZ-CORREAA et al., 2016).

As doenças provenientes do saneamento inadequado, como a febre amarela, leishmaniose (CARMO; DA LUZ; EVILACQUA, 2016), filariose linfática (SANTOSO, 2016), malária (WIRTH et al., 2017), doença de Chagas (MISHRA et al., 2017); transmitidas por via feco-oral: diarreia (NANDI et al., 2017), febre entérica, hepatite A; transmitidas por contato com a água: esquistossomose, cólera (MONTGOMERY et al.,

2018), leptospirose (COSTA et al., 2017); transmitidas por condições precárias de higiene: doença dos olhos, tracoma (MISHRA et al., 2017), conjuntivites, doenças da pele, micoses superficiais; transmitidas por geo-helminhos: helmintíases (WHO, 2016), teníases (NGOWI et al., 2017); têm elevados custos de saúde e financeiros, que resultam em perdas econômicas na ordem de bilhões por ano (UNICEF, 2013).

Estima-se que, para cada dólar investido em saneamento, haverá um aumento na produtividade econômica, com a economia de quatro dólares que se teria com despesas de saúde, para tratar doenças ocasionadas pela falta de infraestrutura sanitária básica (WHO, 2015).

Ao longo do tempo, muitos investimentos e avanços foram observados no setor, embora as desigualdades e os desafios sejam persistentes (MOURA; PROCOPIUCK, 2020). O atual cenário mostra que existem 4,2 bilhões de pessoas no mundo que ainda não têm acesso aos serviços básicos do saneamento, a maior parte reside em países de baixa e média renda (UNICEF e OMS, 2020).

No Brasil, se repete a matemática mundial quanto à cobertura dos serviços básicos de saneamento, com quase 50% da população brasileira que vive sem acesso à coleta e tratamento de esgotos (NUNES; ANDERAO; ARAUJO, 2021). A natureza é o destino de mais de cinco mil piscinas olímpicas por dia de esgoto sem tratamento no país (ITB, 2022).

A solução para este desafio global e para o enfrentamento da crise planetária da ausência de esgoto tratado necessitam do empenho e da efetiva atuação das políticas públicas (HYUN et al., 2019). O Objetivo de Desenvolvimento Sustentável número 6 trata precisamente desta questão: garantir a disponibilidade de acesso à água e ao saneamento para todas as pessoas até 2030 (ONU, 2020). O engajamento dos governos em atingir as metas estabelecidas consiste em uma ação direta para mudança da deficiente situação sanitária de diversas localidades do mundo (ABU; ELLIOTT, 2020).

A pouca disponibilidade de dados ambientais sistematizados, precisos, que retratem a realidade local é um desafio adicional para os gestores responsáveis pela formulação de políticas públicas no Brasil, especialmente os de cidades pequenas e médias. Neste contexto, estudos capazes de aplicar indicadores apropriados que auxiliem a tomada de decisão são necessários e urgentes.

2.1.1 Indicadores ambientais

O provimento de condições sanitárias adequadas são medidas prioritárias nas agendas globais dos governos (ELUBID et al., 2019). Um conjunto diverso de instrumentos têm sido utilizado para mensurar e avaliar a situação da cobertura do saneamento local, sendo os indicadores uma parte expressiva desse extenso grupo (TEIXEIRA et al., 2018).

Os indicadores são ferramentas usadas para o monitoramento de determinado aspecto ambiental, em um local específico, por um tempo estabelecido (LIMA, ARRUDA e SCALIZE, 2019). Eles são instrumentos que objetivam o direcionamento de ações, de políticas ou de planejamento (FERNANDES; CUNHA; SILVA, 2005).

O uso de indicadores ambientais é recente sendo datado a partir da década de 70 época que se acentuou mais assuntos relacionados a preocupação com o meio ambiente (BERNARDES; BERNARDES; GÜNTHER, 2018). Nos últimos anos, cientistas buscaram desenvolver e aprimorar indicadores para a caracterização ambiental e sanitária de municípios, de estados e outras divisões territoriais (ROCHA et al., 2019; LIMA et al., 2019; PEDROSA et al., 2016).

Os indicadores também são usados para avaliar o grau de avanço em função do cumprimento de uma meta. Este tipo de aplicação dos indicadores tem sido observado nos países que buscam atingir os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS (ALLEN et al., 2017), para avaliar avanços em práticas de água, saneamento e higiene – WASH (ABU; ELLIOTT, 2020), para verificar a salubridade ambiental e para investigar a conjuntura do saneamento e saúde em diferentes áreas (LIMA; ARRUDA; SCALIZE, 2019).

A interação entre o ambiente e a saúde pode ser realizada através da simplificação de dados nos indicadores compreensíveis tanto para os decisores políticos, como para a população (MAROOSI et al., 2019). A saúde da população é influenciada por relações entre fatores ambientais, que são medidos por dimensões e indicadores. A aplicação de indicadores apropriados para acompanhar e analisar a saúde ambiental e urbana é imprescindível para apoiar ações baseadas em evidências em nível local (PINEO et al., 2020; SALGADO et al., 2020).

A combinação do emprego de indicadores com a espacialização da informação tem sido empregada para potencializar o entendimento e otimizar a interpretação dos resultados das pesquisas (BATISTA; DA SILVA, 2006). Assim como, para orientar a

escolha de melhores estratégias para sua gestão e subsidiar o desenho de intervenções mais eficazes. (HAMMOURI et al., 2022; MOURA; PROCOPIUCK, 2020).

2.1.1.1 Uso da geoespacialização

O Sistema de Informações Geográficas – SIG e de Sistema de Apoio à Decisão – SAD integrado são poderosas ferramentas de suporte lógico que auxiliam a tomada de decisão de modo ágil, preciso e consistente (AGUS et al., 2018). Com softwares de baixo custo e alto desempenho disponíveis, estes instrumentos permitem o manejo e avaliação de dados espaciais, convertendo produtos cartográficos em objetos dinâmicos (ANANTH et al., 2020).

O SIG é mecanismo intensivo e inovador que possibilita a assistência no desenvolvimento de pesquisas de saneamento e saúde ambiental, por meio do atributo de localização (ELUBID et al., 2019). É um instrumento útil para estimar a realidade a partir das informações utilizadas (LELLA; MANDLA; ZHU, 2017).

A formulação de mapas para mensurar as condições de saneamento e saúde ambiental tem sido adotada em estudos para a compreensão espacializada dos resultados obtidos a partir do uso de indicadores (RODRIGUES, 2022; ANANTH et al., 2020; RODRIGUES et al., 2018; SANTOS; RIBEIRO, 2017; CRISPIM et al., 2016), embora o número de aplicações seja menor na temática da salubridade ambiental (ROCHA; RUFINO; BARROS FILHO, 2019; BATISTA; DA SILVA, 2006).

Hammouri et al. (2022) mapearam localidades de extrema vulnerabilidade na Jordânia para otimizar a oferta de serviços de saneamento a partir do levantamento e síntese de informações espaciais, físicas, demográficas, sociais, econômicas e sanitárias com uso de SIG. Com base nos produtos cartográficos, a vulnerabilidade do saneamento foi categorizada em cinco estratos e variou do mais vulnerável ao menos vulnerável. O mapeamento realizado pode ajudar na melhor distribuição dos investimentos necessários para a cobertura de saneamento nas zonas mais precárias do país.

Moura e Procopiuck (2020) usaram um SIG com dados de abastecimento de água, coleta de resíduos sólidos e tratamento de efluente sanitário, para apresentar um panorama da distribuição geográfica dos serviços básicos de saneamento no Paraná, Brasil. Os menores indicadores foram os de atendimento de esgoto sanitário quando comparados com os de abastecimento de água e recolhimento de resíduos sólidos, sendo este último,

o serviço que obteve o maior índice de cobertura na área avaliada e que mais aumentou em custo, no decorrer da pesquisa.

Ntozini et al. (2015) descreveram mecanismos para estimar de forma fidedigna a geoespacialização de rede de água e saneamento e realizar medições fundamentadas na distância para o acesso físico aos recursos hídricos. Tais medições são basilares para uso no gerenciamento, acompanhamento e análise dos programas de abastecimento de água e saneamento.

Além do seu uso na análise do saneamento e da saúde ambiental, o SIG é um utilitário que combinado, simultaneamente, à análise estatística, também pode ser amplamente empregado para avaliar a prevalência recente da pandemia ocasionada pelo novo coronavírus e melhor entender os fatores de ocorrência e transmissão da Coronavirus Disease 2019 – COVID-19 (POUYA; AGHLMAND, 2022; VANDERLEY-SILVA; VALENTE, 2022; SHARIATI et al., 2020).

2.1.1.2 Relação com a COVID-19

Em dezembro de 2019, o primeiro episódio da COVID-19, infecção provocada por um novo coronavírus chamado de SARS-CoV-2, foi confirmado na cidade de Wuhan, na China (PONCE-DE-LEON et al., 2021). E rapidamente se propagou em todo o mundo, levando a Organização Mundial da Saúde – OMS declarar situação de pandemia (GANGWAR; RAY, 2021; SOARES et al., 2020).

Alguns meses após a notificação inicial, centenas de milhares de casos foram relatados em mais de 250 nações, tornando-se a mais grave ameaça à saúde do homem, na era da globalização (ESLAMI; JALILI, 2020). Para conter a disseminação da COVID-19 foram adotadas práticas como uso de máscaras, distanciamento social e lavagem constante das mãos (NATH et al., 2021).

Deste modo, o acesso ao saneamento básico e, maiormente, à água segura e potável, é uma medida profilática no combate à pandemia provocada pela propagação do SARS-Cov-2 (GWENZI, 2021; CAPODEFERRO; SMIDERLE, 2020). Já que a higiene das mãos com água limpa e sabão é um procedimento amplamente recomendado pela OMS e que a ausência ou deficiência dos serviços de saneamento aumentaria o risco de contaminação e transmissão do vírus (MINGOTI; BLANFORD; ANTHONJ, 2022; NATH, 2021; DAS et al., 2020; ONU, 2020).

Chakraborty et al. (2022) utilizaram um SIG para mapear pontos críticos de

COVID-19 na bacia do rio Indus-Ganga-Brahmaputra, situada no Sul da Ásia. A maior concentração de casos da doença foi identificada em localidades nas quais o saneamento básico era precário.

Donde et al. (2021) realizaram uma revisão da literatura sobre a propagação do SARS-CoV-2 e os desafios de seu controle, em países de baixa renda, com saneamento insuficiente. Os principais achados confirmaram que o acesso aos serviços sanitários básicos é condição para o manejo controlado da COVID-19 e que a conjuntura do saneamento nos países de baixa renda é insatisfatória para o efetivo domínio da doença viral.

Contudo, pesquisas também evidenciaram que a contenção da transmissão do novo coronavírus não ocorre por um fator isolado, mas por uma complexa rede de aspectos que se relacionam de forma direta ou indireta, entre eles, as condições de salubridade ambiental.

2.2 SALUBRIDADE AMBIENTAL

A definição de salubridade ambiental, engloba o saneamento ambiental e seus elementos, visando a associação sob uma perspectiva integral, participativa e de racional da utilização dos recursos naturais (BATISTA; DA SILVA, 2005). A salubridade também consiste em como a qualidade ambiental pode evitar o acontecimento de enfermidades transmitidas pelo ambiente e de proporcionar o aprimoramento dos fatores mesológicos propícios à saúde da população urbana e rural (SÃO PAULO, 1999).

A salubridade ambiental é conceituada como o estado de boa saúde em que reside a população urbana e rural, que faz referência à capacidade de inibir, prevenir ou impedir episódios de endemias ou epidemias disseminadas pelo meio ambiente, de forma a buscar promover um ambiente em perfeita qualidade que propicie o bem-estar daqueles que ali vivem e transitam (FUNASA, 2007). Nesse contexto, o nível de salubridade ambiental de um local pode ser mensurado a partir do uso de um indicador específico capaz de estimá-la, o Indicador de Salubridade Ambiental – ISA (TEIXEIRA et al., 2018).

2.2.1 Indicador de Salubridade Ambiental – ISA

O ISA busca a medição da salubridade ambiental, ligada ao saneamento, de forma que sua composição passa pela determinação da qualidade dos serviços a partir de seis

grupos de indicadores: Indicador de Abastecimento de Água – I_{AB} ; Indicador de Esgoto Sanitário – I_{ES} ; Indicador de Resíduos Sólidos – I_{RS} ; Indicador de Controle de Vetores – I_{CV} ; Indicador de Recursos Hídricos – I_{RH} e Indicador Socioeconômico – I_{SE} (CONESAN, 1999).

No Brasil, o ISA é a ferramenta mais usada para medir a salubridade ambiental de uma determinada região, sendo, portanto, um tipo de indicador ambiental, criado em 1999 pela Câmara Técnica de Planejamento do Conselho Estadual de Saneamento do Estado de São Paulo – CONESAN (GAMA et al., 2022; ALMEIDA, 2021).

Após sua formulação original, o ISA passou a ser adaptado e aplicado em todo território nacional, em diversas cidades, bairros e comunidades. Sua pontuação varia de 0,00 a 1,00, e quanto mais próximo de um melhor a situação de salubridade ambiental (BRAGA; BEZERRA; SCALIZE, 2022; ROCHA et al., 2019).

Um dos principais benefícios do ISA é a capacidade de indicar qual serviço de saneamento se encontra em situação mais favorável e qual requer intervenção (TEIXEIRA; PRADO FILHO; SANTIAGO, 2018). O ISA já foi adaptado para diversas realidades e embora tenha sido desenvolvido para aplicação em meio urbano já existem estudos com propostas eficientes de uso do mesmo também no meio rural (BERNARDES; BERNARDES; GUNTHER, 2018). Embora a aplicação predominante seja em áreas urbanas (XAVIER; ALMEIDA, 2018; MORENO; MORAES, 2017; PINTO et al. 2014; VALVASSORI; ALEXANDRE, 2012; BATISTA; SILVA, 2006).

O ISA apresentou-se como uma ótima ferramenta para definição da salubridade ambiental dos locais estudados (TEIXEIRA et. al., 2018). E apresentou potencial de uso para o monitoramento, a gestão e o subsídio ao planejamento ambiental, ao direcionamento de recursos e à tomada de decisão na formulação de políticas públicas (LIMA et al., 2019; TEIXEIRA et. al., 2018)).

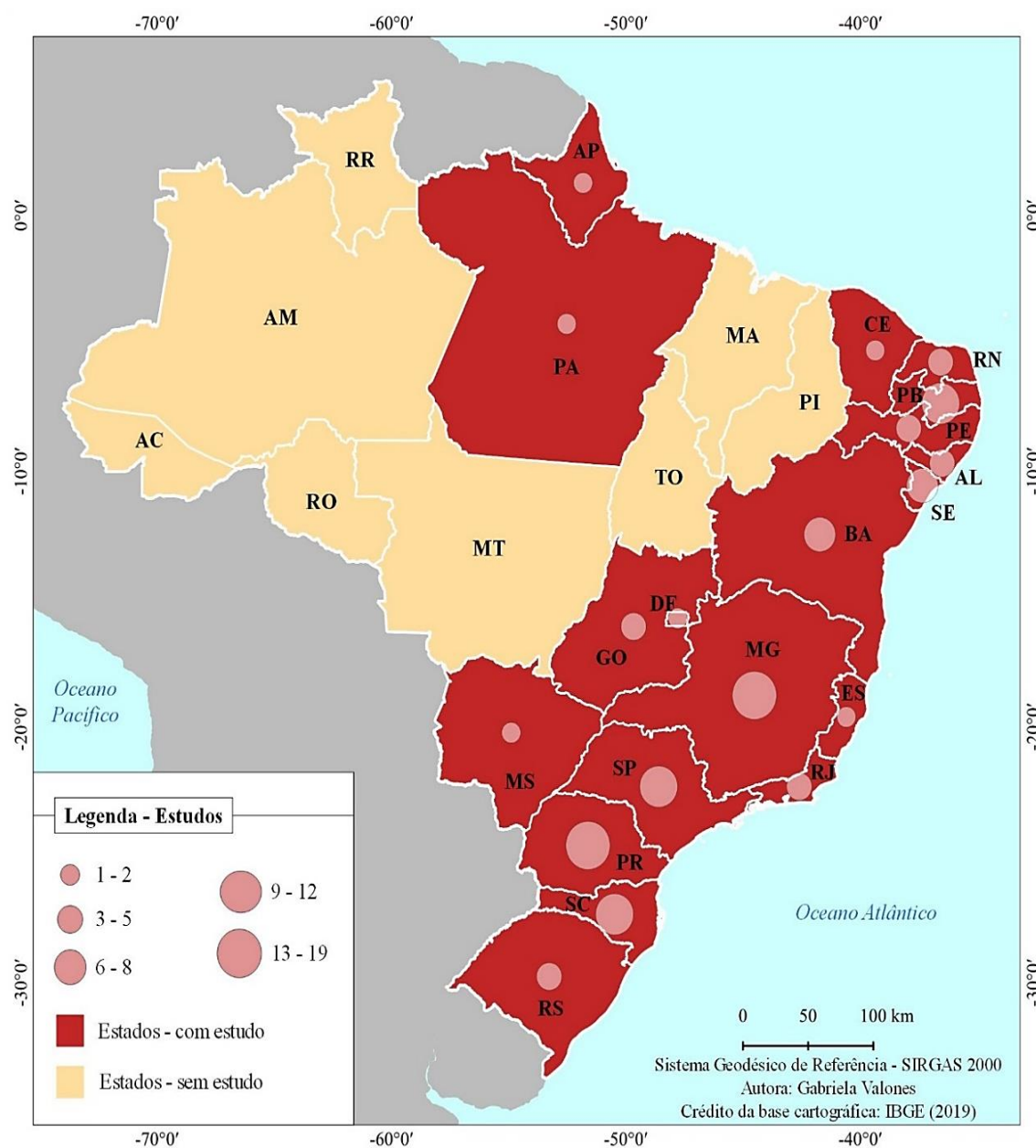
2.2.1.1 Utilização do ISA no Brasil

O Indicador de Salubridade Ambiental já foi aplicado em lugares variados do país (Figura 1). Todas as pesquisas de ISA, de 1999, quando o indicador foi criado, até o ano de 2022, foram revisadas nesta seção a partir de uma busca exaustiva da literatura. No total, há 103 publicações e 86 aplicações de ISA no território nacional.

A publicação faz referência à aplicação que é feita do ISA que é comunicada à comunidade científica por meio de artigos, trabalhos completos, resumos, trabalhos de

conclusão de curso, monografias, dissertações, teses e/ou planos de saneamento. A aplicação do ISA refere-se ao fato de uma localidade ter seu ISA mensurado pela primeira vez. A distribuição espacial dos estudos é abaixo apresentada em intervalos que variaram em intervalos com menor concentração de estudos (intervalo de 1-2) até a maior concentração de estudos (intervalo de 13-19).

Figura 1 – Estados do Brasil com ISA



Fonte: A autora (2022).

A seguir são mostrados os principais achados, de cada um dos trabalhos que utilizaram o ISA. Eles estão agrupados no nível da federação (Brasil), climático (semiárido) e regional (Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul).

Algumas pesquisas resultaram em mais de um tipo de publicação, que estão aqui listadas, mas que não foram contabilizadas, por se tratar do mesmo estudo. Isto porque, a finalidade é quantificar e qualificar os locais em que o ISA foi aplicado e não, obrigatoriamente, o número de publicações.

2.2.1.1.1 ISA no nível da federação

As pesquisas realizadas em nível de Brasil consistem em revisões sistemáticas, bibliográficas ou narrativas, que conjugaram em um mesmo trabalho, o ISA que foi calculado em diferentes lugares da federação. No total, há seis publicações e quatro aplicações, equivalente a 4,6% dos usos do ISA no país (Quadro 1).

Quadro 1 – ISA aplicado em nível de Brasil

Nº.	Autor(es) (Ano)	Local de aplicação	Subdivisão	Origem
1	Maccarini e Henning (2018a)	Brasil	Diversos	Artigo
	Maccarini e Henning (2018b)	Brasil	Diversos	Trabalho completo
2	Teixeira, Prado Filho e Santiago (2018)	Brasil	Diversos	Artigo
	Teixeira, Prado Filho e Santiago (2017)	Brasil	Diversos	Trabalho completo
3	Daronco, Wartchow e Cybis (2015)	Brasil	Setor de saneamento	Trabalho completo
4	Aravéchia Júnior et al. (2013)	Brasil	Setor de energia	Artigo

Fonte: A autora (2022).

Maccarini e Henning (2018a) e Maccarini e Henning (2018b) analisaram 15 trabalhos entre os anos de 1999 e 2018, que usaram o ISA, para detalhar suas possíveis aplicações e as mudanças feitas em seu critério de cálculo original. Os resultados evidenciaram uma grande utilização do indicador em território nacional que foram

associados à flexibilidade de ajustar os subindicadores conforme as características da área a avaliar.

Teixeira et al. (2018) e Teixeira, Prado Filho e Santiago (2017) verificaram que as regiões Nordeste e Sul do país detiveram a maior parcela de trabalhos realizados com ISA, sendo dissertação de mestrado (fonte de origem dos dados) e domicílio (subdivisão de estudo) as formas mais recorrentes. As pesquisas avaliadas pelos autores apontaram a utilização média de seis marcadores de primeira ordem para emprego/adaptação do ISA. Entre esses, o I_{AB}, o I_{ES} e o I_{RS} foram usados nos 60 estudos examinados.

Daronco, Wartchow e Cybis (2015) identificaram quatro dos principais indicadores de qualidade, utilizados como via para quantificar elementos técnicos, do setor de saneamento no Brasil, que foram o Censo Demográfico, o Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios – PNAD, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB e o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento – SNIS.

Aravéchia Júnior et al. (2013) recomendaram uma mudança na equação do ISA com a inserção de um Indicador de Energia. Haja vista que, os setores do saneamento básico como abastecimento de água, esgotamento sanitário e resíduos sólidos, serviços indispensáveis à salubridade ambiental, têm uma elevada dependência do consumo de energia.

2.2.1.1.2 ISA em nível climático

No território nacional, o semiárido inclui nove estados da região Nordeste e parte do Norte do estado de Minas Gerais. Ocupa 12% do país e possui uma população de 28 milhões de habitantes, que o caracteriza como um dos mais habitados do mundo (BRASIL, 2022).

A salubridade ambiental com o emprego do ISA, nas regiões semiáridas, é tema de destaque nesta tese e em virtude da importância das informações do ISA para avaliar a saúde e saneamento nessas áreas, também foi incluída a pontuação do indicador e respectiva situação de salubridade ambiental no local analisado. A maior parte dos municípios apresentou média salubridade. No total, há 15 publicações e 11 aplicações do ISA no semiárido brasileiro, que equivale a 12,8% dos usos no Brasil (Quadro 2).

Quadro 2 – ISA aplicado em localidades do semiárido brasileiro

Nº.	Autor(es) (Ano)	Local de aplicação	Subdivisão	Origem	ISA	Situação
5	Duarte, Bezerra e Gonçalves (2021)	Caruaru, Pernambuco	Bairro	Artigo	0,56	Média salubridade
	Duarte (2018)			Dissertação		
6	Lima (2021)	Beberibe, Ceará	Município	Monografia	0,53	Média salubridade
7	Rodrigues Junior (2021)	Propriá, Sergipe	Município	Artigo	0,77	Salubre
8	Moura e Moraes (2019)	Macaparana, Pernambuco	Município	Monografia	0,34	Baixa salubridade
9	Rocha et al. (2019)	Campina Grande, Paraíba	Setor censitário e bairro	Artigo	0,37	Baixa salubridade
	Rocha (2016)			Dissertação		
10	Peixoto et al. (2018)	Mossoró, Rio Grande do Norte	Setor censitário e bairro	Artigo	0,65	Média salubridade
11	Ribeiro et al. (2018)	Caruaru, Pernambuco	Bairro	Trabalho completo	0,54	Média salubridade
12	Pereira (2016)	Mossoró, Rio Grande do Norte	Município	Monografia	0,72	Média salubridade
13	Cunha (2014)	Itaguaçu, Bahia	Bacia hidrográfica	Artigo	0,45	Baixa salubridade
	Cunha (2012)			Dissertação		
14	Pedrosa (2014)	Campina Grande, Paraíba	Comunidade	Dissertação	Não consta	Média salubridade
	Pedrosa, de Miranda e Ribeiro (2016)			Artigo		
15	Neri (2005)	Porto da Folha, Sergipe	Povoado	Dissertação	0,40	Baixa salubridade

Fonte: A autora (2022).

Duarte, Bezerra e Gonçalves (2021) e Duarte (2018) avaliaram dois bairros em Caruaru – PE, que apresentaram média salubridade. Os setores que necessitam de priorização das políticas públicas são abastecimento de água, resíduos sólidos e socioeconômicos. Quanto ao abastecimento de água, recomendam-se ações de melhoria direcionadas para aumentar a disponibilidade hídrica, em quantidade e qualidade, à

população. A qualidade da água consumida é baixa, devido, especialmente, à intermitência no abastecimento, que acarreta o uso de fontes alternativas para o consumo humano.

Lima (2021) indicou a necessidade de melhoria das condições de saneamento e saúde no município de Beberibe – CE, mesmo a localidade tendo sido categorizada como de média salubridade ambiental ($ISA = 0,53$). A recomendação se deu pelo fato da pontuação do indicador ter ficado bem perto do limite inferior para a citada classificação de salubridade ($0,51 \leq ISA \leq 0,75$).

Rodrigues Junior (2021) verificou a situação de salubridade ambiental no povoado Ilha do Ouro, localizado em Sergipe, que sugeriu um ISA mais elevado na área urbana do que na rural. Deste modo, os serviços de saneamento envolvendo a drenagem de água pluviais devem ser melhores controlados e mitigados na área urbana, já na área rural há a necessidade ampliação dos serviços de esgotamento sanitário.

Moura e Moraes (2019) identificaram que o baixo valor de salubridade ambiental em Macaparana – PE estava relacionado com a necessidade de investimentos públicos na infraestrutura do esgotamento sanitário, no encerramento da disposição irregular de resíduos sólidos em lixão e na execução de um sistema de drenagem não-conjugado ao de esgoto. E ainda, que a implantação de um aterro sanitário pode contribuir com o controle de vetores propagadores de enfermidades como a *chikungunya*, que cresceu no período de análise da pesquisa.

Rocha et al. (2019) e Rocha (2016) ao analisar a salubridade do ambiente em setores Campina Grande – PB, constatou que os valores mais elevados do ISA estavam localizados na área nobre da cidade, enquanto que, os bairros que demonstraram os menores valores, situados nas regiões periféricas. O esgotamento sanitário e o aspecto socioeconômico destacaram-se como as áreas mais deficientes do município e apresentaram os piores resultados entre os indicadores que integram o ISA. Os desfechos do ISA/CG mostraram que esta é uma ferramenta útil para comparar as condições de salubridade na zona intra-urbana e, que possibilita o diagnóstico das áreas deficientes e das melhores infraestruturas da cidade.

Peixoto et al. (2018) mostraram altas taxas de cobertura por domicílio ($90\% <$) com pouca variabilidade do Indicador de Abastecimento de Água – I_{AB} e do Índice de Coleta de Lixo – I_{CL} , 94 e 95%, respectivamente, na capital do semiárido potiguar, Mossoró – RN. O acesso ao esgotamento sanitário também apresentou elevado atendimento, com 90% das residências contempladas pelo serviço, que estava

concentrado na área central e circunvizinhas da cidade. O Índice de Esgotamento Sanitário – I_{ES} , foi o que mais influenciou no resultado do ISA, que teve menores valores nos bairros da periferia.

Ribeiro et al. (2018) apontaram que a área de estudo em Caruaru – PE foi de média salubridade, devido aos indicadores de esgotamento sanitário e controle de vetores que tiveram a mesma classificação e influenciaram positivamente na pontuação final do ISA. Embora os setores de abastecimento de água, resíduos sólidos e socioeconômico tenham sido categorizados como de baixa salubridade. Os autores corroboram que o ISA é eficaz para retratar a prestação dos serviços de saneamento, que favorece a tomada de decisão e às políticas públicas no setor.

Pereira (2016) ao pesquisar as condições de saneamento e saúde na cidade de Mossoró – RN, quantificou a salubridade ambiental local com uso do ISA, que foi classificado como de média salubridade. O autor, ao analisar, conjuntamente, os indicadores de abastecimento de água, de esgoto sanitário, de resíduos sólidos, de controle de vetores, de drenagem urbana e socioeconômico, mostrou que mesmo diante do valor intermediário do ISA, a salubridade pode ser aumentada em função de investimentos na disposição adequada de esgotos, na saúde e em dispositivos para alagamentos e drenagem urbana.

Cunha (2014) e Cunha (2012) constataram que quatro áreas avaliadas apresentaram desfechos semelhantes no que se refere à baixa salubridade ambiental que estava associada à falta da prestação de serviços relacionados ao saneamento ambiental, como também às questões socioeconômicas.

Pedrosa (2014) e Pedrosa, de Miranda e Ribeiro (2014) propuseram uma adaptação da formulação original do ISA para a comunidade Novo Horizonte, localizada na Paraíba. A reformulação resultou na criação de um novo indicador, o ISA/NH, constituído por sete indicadores atrelados ao saneamento ambiental, a saúde pública e aos aspectos socioeconômicos. Os achados da aplicação do novo indicador expuseram que os piores resultados, em todos os cenários estudados, se encontravam coligados às condições socioeconômicas.

Neri (2005) ao avaliar a situação de salubridade ambiental, no povoado Ilha do Ouro, localizado em Sergipe, constatou a baixa higidez do ambiente. A condição de baixa salubridade é decorrente da falta de potabilidade da água para o consumo humano; dos resíduos sólidos destinados irregularmente a vazadouros; e das águas residuárias lançadas

a céu aberto em quintais, ou dispostas em fossas rasas, que impedem a infiltração adequada, favorecem o transbordamento e a proliferação de vetores de doenças.

2.2.1.1.3 ISA em nível regional

Em cada uma das cinco regiões do país são citados os usos do ISA e os principais desfechos das aplicações apresentados:

a) Norte: a Região Norte, entre todas as outras regiões do país, foi a que reuniu o menor número aplicações do ISA no Brasil. No total, há três publicações e aplicações do ISA, que equivale a 3,5% dos usos no país (Quadro 3).

Quadro 3 – ISA aplicado em localidades da Região Norte do Brasil

Nº.	Autor(es) (Ano)	Local de aplicação	Subdivisão	Origem
16	Brito (2021)	Belém e Ananindeua, Pará	Município	Artigo
17	Bernardes, Bernardes e Günther et al. (2018)	Amazônia	Domicílio	Artigo
18	Colina (2018)	Belém, Pará	Município	Dissertação

Fonte: A autora (2022).

Brito (2021) concluiu que a cidade de Belém teve baixa salubridade (ISA = 0,25) e o município de Ananindeua foi classificado como insalubre (ISA = 0,11), devido, particularmente, à falta de esgotamento sanitário e do manejo adequado dos resíduos sólidos. Deste modo, a prioridade de investimentos deve ser para esses serviços. Assim, o ISA é um eficaz instrumento de suporte para decisões, que pode ajudar nas políticas públicas de saneamento básico.

Bernardes, Bernardes e Günther et al. (2018) verificaram que o ISA, aplicado na área rural, foi capaz de mensurar a diferenciação da salubridade ambiental das moradias nas comunidades ribeirinhas avaliadas, apesar destas apresentarem similaridade nas configurações socioeconômicas, culturais e ambientais. Também constataram a situação de salubridade ambiental dos domicílios como baixa.

Colina (2018) em avaliação da situação de salubridade da área urbana do município Belém, verificou que é considerada como de baixa salubridade (ISA = 0,27), em função, especialmente, das baixas taxas de esgotamento sanitário e da irregularidade

na destinação dos resíduos sólidos. O ISA/Belém demonstrou ser uma ferramenta viável e de fácil aplicação para subsidiar o planejamento urbano;

b) Nordeste:

A Região Nordeste deteve o maior número de usos do ISA em território nacional, por incluir todos os estudos de ISA desenvolvidos no semiárido. No total, houve referente à região 34 publicações (sendo 15 no semiárido) e 30 aplicações do ISA (sendo 11 no semiárido), proporcional a 34,9% dos usos no Brasil (sendo 12,8% equivalente às aplicações no semiárido).

Os ISAs empregados no semiárido estão repetidos no Quadro 4, para a correta distribuição geográfica das aplicações do indicador, já que as pesquisas ocorreram na Região Nordeste, mas não são numerados nem contados novamente no total de ISA utilizados no país.

Quadro 4 – ISA aplicado em localidades da Região Nordeste do Brasil

Continua

Nº.	Autor(es) (Ano)	Local de aplicação	Subdivisão	Origem
19	Gama et al. (2022)	Maceió, Alagoas	Bacia hidrográfica	Artigo
20	Rodrigues Júnior (2022)	Recife, Pernambuco	Áreas de morros urbanos	Dissertação
21	Almeida (2021)	Natal, Rio Grande do Norte	Conjunto Habitacional	Monografia
22	Pereira Filho (2021)	Agreste, Trairi e Potengi, Rio Grande do Norte	Sistema Adutor	Monografia
23	Souza et al. (2021)	São Cristóvão, Sergipe	Campus universitário	Artigo
24	Costa, Gadelha e Filgueira (2019)	Cabedelo, Conde, João Pessoa e Pitimbi, Paraíba	Litoral	Artigo
25	Mendes e Lima Neto (2018)	Altaneira, Barbalha, Caririaçu, Crato, Farias Brito, Jardim, Juazeiro do Norte, Missão Velha, Nova Olinda e Santana do Cariri, Ceará	Município	Artigo

Quadro 4 – ISA aplicado em localidades da Região Nordeste do Brasil

Continuação

Nº.	Autor(es) (Ano)	Local de aplicação	Subdivisão	Origem
26	Gama, Gomes e Souza (2016)	Maceió, Alagoas	Bacia hidrográfica	Artigo
27	Santos e Daltro Filho (2015)	Brejo Grande, Sergipe	Município	Trabalho completo
28	Bastos et al. (2014)	Marechal Deodoro, Alagoas	Município	Trabalho completo
29	Albuquerque (2013)	Brejo Grande, Sergipe	Comunidade rural	Dissertação
				Artigo
30	Gama (2013)	Maceió, Alagoas	Bacia hidrográfica	Dissertação
31	Buckley (2010)	Aracaju, Sergipe	Programa de Arrendamento Residencial	Dissertação
				Artigo
32	Rocha et al. (2010)	Ilhéus, Bahia	Bacia hidrográfica	Artigo
	Rocha (2008)			Dissertação
33	Batista e Silva (2006)	João Pessoa, Paraíba	Setor censitário e bairro	Artigo
34	Silva (2006)	João Pessoa, Paraíba	Comunidades periurbanas	Dissertação
				Trabalho completo
35	Ribeiro et al. (2004)	João Pessoa, Paraíba	Bairro	Trabalho completo
36	Dias (2003)	Salvador, Bahia	Áreas de ocupação espontânea	Dissertação
Semiárido	Duarte, Bezerra e Gonçalves (2021)	Caruaru, Pernambuco	Bairro	Artigo
	Duarte (2018)			Dissertação
	Lima (2021)	Beberibe, Ceará	Município	Monografia
	Rodrigues Junior (2021)	Propriá, Sergipe	Município	Artigo
	Moura e Moraes (2019)	Macaparana, Pernambuco	Município	Monografia
	Rocha et al. (2019)	Campina Grande, Paraíba	Setor censitário e bairro	Artigo
	Rocha (2016)			Dissertação

Quadro 4 – ISA aplicado em localidades da Região Nordeste do Brasil

Conclusão

Nº.	Autor(es) (Ano)	Local de aplicação	Subdivisão	Origem
Semiárido	Peixoto et al. (2018)	Mossoró, Rio Grande do Norte	Setor censitário e bairro	Artigo
	Ribeiro et al. (2018)	Caruaru, Pernambuco	Bairro	Trabalho completo
	Pereira (2016)	Mossoró, Rio Grande do Norte	Município	Monografia
	Cunha (2014)	Itaguaçu, Bahia	Bacia hidrográfica	Artigo
	Cunha (2012)			Dissertação
	Pedrosa (2014)	Campina Grande, Paraíba	Comunidade	Dissertação
	Pedrosa, de Miranda e Ribeiro (2014)			Artigo
	Neri (2005)	Porto da Folha, Sergipe	Povoado	Dissertação

Fonte: A autora (2022).

Albuquerque (2013) a partir dos despechos, verificou que a rede de infraestrutura de saneamento ambiental existente na comunidade Saramém produz um ambiente com baixa salubridade, afetando assim a saúde de sua população.

Silva (2006a) e Silva (2006b) evidenciou as comunidades com condições variando de insalubres ($0,00 \leq ISA \leq 0,25$) a média salubridade ($0,26 \leq ISA \leq 0,50$). Os benefícios e mudanças propostos foram direcionados para o alcance da salubridade aceitável, segundo os valores de investimentos disponíveis.

Batista e Silva (2006) confirmaram que os melhores resultados do ISA em João Pessoa evidenciaram, a seguinte classificação de salubridade, em ordem decrescente: Cabo Branco, Tambaú, Jardim Oceania, Manaíra, Penha, Ponta do Seixas e Bessa, qualificados como salubre ($0,75 \leq ISA \leq 1,00$). Enquanto que, Altiplano, Cabo Branco e Aeroclube, obtiveram condição de média salubridade ($0,26 \leq ISA \leq 0,50$).

c) Centro-Oeste

A Região Centro-Oeste apresentou uma concentração de aplicações de ISA no estado de Goiás. No total, houve oito publicações e aplicações do ISA, proporcional a 9,3% dos usos no Brasil (Quadro 5).

Quadro 5 – ISA aplicado em localidades da Região Centro-Oeste do Brasil

Nº.	Autor(es) (Ano)	Local de aplicação	Subdivisão	Origem
37	Braga, Bezerra e Scalize (2022)	43 comunidades rurais de Goiás	Aglomerados rurais	Artigo
38	Lima et al. (2019)	21 municípios de Goiás	Município	Artigo
39	Xavier e Almeida (2018)	Goiás	Município	Monografia
40	Moreno e de Moraes (2017)	Mundo Novo, Mato Grosso do Sul	Município	Trabalho completo
41	Lemos e Silva (2016)	Paranoá, Distrito Federal	Bacia hidrográfica	Monografia
42	Lima (2014)	Goiás	Município	Dissertação
43	Aravéchia Júnior (2010)	Goiás	Município	Dissertação
44	Santos (2008)	Aquidauana, Mato Grosso do Sul	Município	Dissertação

Fonte: A autora (2022).

Xavier e Almeida (2018) concluíram que o ISA se mostrou facilmente adaptável às especificidades dos municípios goianos. Tal aspecto, foi previsto desde a sua concepção, no Manual Básico do ISA do CONESAN. A metodologia *Delphi* foi usada para consultar especialistas em saneamento para que propusessem adaptações ao ISA que melhor representassem a realidade estudada.

Lima (2014) ao estudar a salubridade ambiental em Goiás, observou que as áreas mais carentes se coligam ao esgotamento sanitário e aos resíduos sólidos urbanos, o que mostra que a maior parcela dos municípios visitados, não gerenciam esses sistemas da maneira adequada.

d) Sudeste

A Região Sudeste apresentou uma concentração de aplicações de ISA no estado de Minas Gerais. No total, há 23 publicações e 21 aplicações do ISA, proporcional a 24,4% dos usos no Brasil (Quadro 6).

Quadro 6 – ISA aplicado em localidades da Região Sudeste do Brasil

Continua

Nº.	Autor(es) (Ano)	Local de aplicação	Subdivisão	Origem
45	Ferro e Ventura (2021)	Rio Claro, São Paulo	Município	Resumo expandido
	Ferro, Ventura e Rezende (2020)			Trabalho completo
46	Soares e Menezes Filho (2021)	Patos de Minas, Minas Gerais	Bairro	Artigo
47	Alvares (2020)	Pardo Grande, São Paulo	Bacia hidrográfica	Dissertação
48	DRZ Geotecnologia e Consultoria (2020)	Rio de Janeiro	Município	Plano Municipal de Saneamento
49	Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura (2020)	Belo Horizonte, Minas Gerais	Município	Plano Municipal de Saneamento
50	Teixeira (2017)	Ouro Preto, Minas Gerais	Distrito	Dissertação
	Teixeira, Prado Filho e Santiago (2020)			Artigo
51	Santos (2017)	São Francisco do Itabapoana, Rio de Janeiro	Regiões estuarinas	Dissertação
52	Silva (2017)	Alto Paraopeba, Minas Gerais	Bacia hidrográfica	Tese
53	Departamento Autônomo de Água e Esgoto de Penápolis e Vigilância Sanitária Municipal (2016)	Penápolis, São Paulo	Município	Relatório de Salubridade Ambiental
54	Pinto et al. (2016)	Diamante do Oeste, Paraná	Município	Artigo
55	Resende e Costa (2015)	Casa Grande, Minas Gerais	Município	Trabalho completo
56	Oliveira (2014)	Juiz de Fora, Minas Gerais	Bairro	Monografia
57	Neumann, Calmon e Aguiar (2013)	Lagoa de Carapebus, Espírito Santo	Loteamento	Artigo
58	Secretaria Municipal do Verde e do Desenvolvimento Sustentável (2013)	Campinas, São Paulo	Município	Plano Municipal de Saneamento

Quadro 6 – ISA aplicado em localidades da Região Sudeste do Brasil

Conclusão

Nº.	Autor(es) (Ano)	Local de aplicação	Subdivisão	Origem
59	Viana (2013)	Itapemirim, Espírito Santo	Município	Dissertação
60	Costa (2010)	Ouro Branco, Minas Gerais	Comunidade rural	Dissertação
61	São Paulo (2010)	Olímpia, São Paulo	Município	Plano Municipal de Saneamento
62	Silva (2009)	Ouro Branco, Minas Gerais	Segmentos atendidos pelas unidades públicas de saúde	Dissertação
63	Menezes (2007)	Ouro Preto, Minas Gerais	Comunidades carentes	Dissertação
64	Azevedo (2006)	São Gonçalo, Rio de Janeiro	Município	Tese
65	Almeida (1999)	São Paulo, São Paulo	Favela	Tese

Fonte: A autora (2022).

São Paulo (2010) se refere à avaliação da salubridade realizada a partir do Plano de Saneamento para o município de Olímpia, que foi categorizado como salubre ($ISA = 0,81$). As recomendações da aplicação indicam: tornar permanente a análise do ISA, por área homogênea, com periodicidade igual ou inferior a 1 ano; e a meta de elevar o ISA do município para 0,90 até 2020.

Soares e Mezes Filho (2021) identificaram que dos oito bairros estudados, só um apresentou média salubridade ($0,51 \leq ISA \leq 0,75$), enquanto os demais, baixa salubridade ($0,25 \leq ISA \leq 0,50$). O I_{SE} foi o mais decisivo para tal classificação e que o acesso ao saneamento ambiental é diferente entre os bairros em função da renda média contrapondo à universalização tão desejada por todos e preconizada pela lei do saneamento.

e) Sul

A Região Sul reuniu um grande aporte dos usos do ISA no país. No total, há 21 publicações e aplicações do ISA, proporcional a 24,4% das aplicações no Brasil (Quadro 7).

Quadro 7 – ISA aplicado em localidades da Região Sul do Brasil

Continua

Nº.	Autor(es) (Ano)	Local de aplicação	Subdivisão	Origem
66	Concremat (2022)	Rio Grande do Sul	Estado	Plano Estadual de Saneamento do Rio Grande do Sul
67	Bilmayer, Mezzomo e Gonçalves (2020)	Peabiru, Paraná	Setor censitário	Artigo
68	Brustin et al. (2020)	Maringá e Sarandi, Paraná	Município	Artigo
69	Maccarini (2019)	Joinville, Santa Catarina	Bacia hidrográfica	Dissertação
70	Mari et al. (2019)	Oeste do Paraná	Município	Artigo
71	Saneville Engenharia e Consultoria (2019)	Porto Belo, Santa Catarina	Município	Plano Municipal de Saneamento
72	Zachi et al. (2018)	Frederico Westphalen	Município	Artigo
73	Comitê Gestor Municipal (2017)	São Pedro do Iguaçu, Paraná	Município	Plano Municipal de Saneamento
74	Lins e Moraes (2017)	Guaíra, Paraná	Município	Trabalho completo
75	Aguiar (2016)	Missões, Rio Grande do Sul	Município	Monografia
76	Cabral (2015)	Oeste do Paraná	Município	Dissertação
77	Ambroso (2014)	Araranguá, Santa Catarina	Município	Monografia
78	Pinto et al. (2014)	São Pedro do Iguaçu, Paraná	Município	Artigo
79	Valle (2014)	Foz do Iguaçu, Paraná	Bairro	Monografia
80	Cabral et al. (2013)	Céu Azul, Paraná	Município	Artigo

Quadro 7 – ISA aplicado em localidades da Região Sul do Brasil

Nº.	Autor(es) (Ano)	Local de aplicação	Subdivisão	Conclusão
				Origem
81	Cabral et al. (2013)	São Miguel do Iguaçu, Paraná	Município	Artigo
82	Baggio (2013)	Cocal do Sul, Santa Catarina	Setor censitário	Monografia
83	Valvassori e Alexandre (2012)	Criciúma, Santa Catarina	Setor censitário	Artigo
84	Secretaria do Estado de Desenvolvimento Econômico Sustentável (2011)	Botuverá, Santa Catarina	Município	Plano Municipal de Saneamento
85	Calijuri et al. (2009)	Tucuruí, Paraná	Município	Artigo
86	MPB Engenharia (2008)	Florianópolis, Santa Catarina	Município	Plano Municipal de Saneamento

Fonte: A autora (2022).

Bilmayer, Mezzomo e Gonçalves (2020) analisaram que apenas um setor censitário do município foi categorizado como de média salubridade, enquanto que os outros 13 setores, foram nivelados na classificação de baixa salubridade. A razão para os baixos resultados consiste na ausência de rede de coleta e tratamento de águas residuárias, como também à destinação final irregular dos resíduos sólidos.

Maccarini (2019) verificou que os resultados revelaram a bacia hidrográfica como baixa salubridade ($0,26 \leq ISA \leq 0,50$) e nos bairros a condição variou de baixa salubridade à salubre, o que mostra a assimetria na distribuição dos serviços e manifesta a deficiência dos sistemas de saneamento na área pesquisada.

3 METODOLOGIA

Nesta etapa serão abordadas informações detalhadas relativas à configuração da pesquisa; ao mapa conceitual; à revisão sistemática da literatura; à área de estudo; à obtenção e seleção de dados primários e secundários; à composição, cálculo e classificação do ISA; às ferramentas analíticas empregadas na análise; e à divulgação dos resultados.

3.1 CONFIGURAÇÃO DA PESQUISA

Este estudo se caracteriza como uma leitura crítica da realidade, mediada por processos de levantamento, registro, coleta, produção, sistematização, análise, interpretação e divulgação de dados.

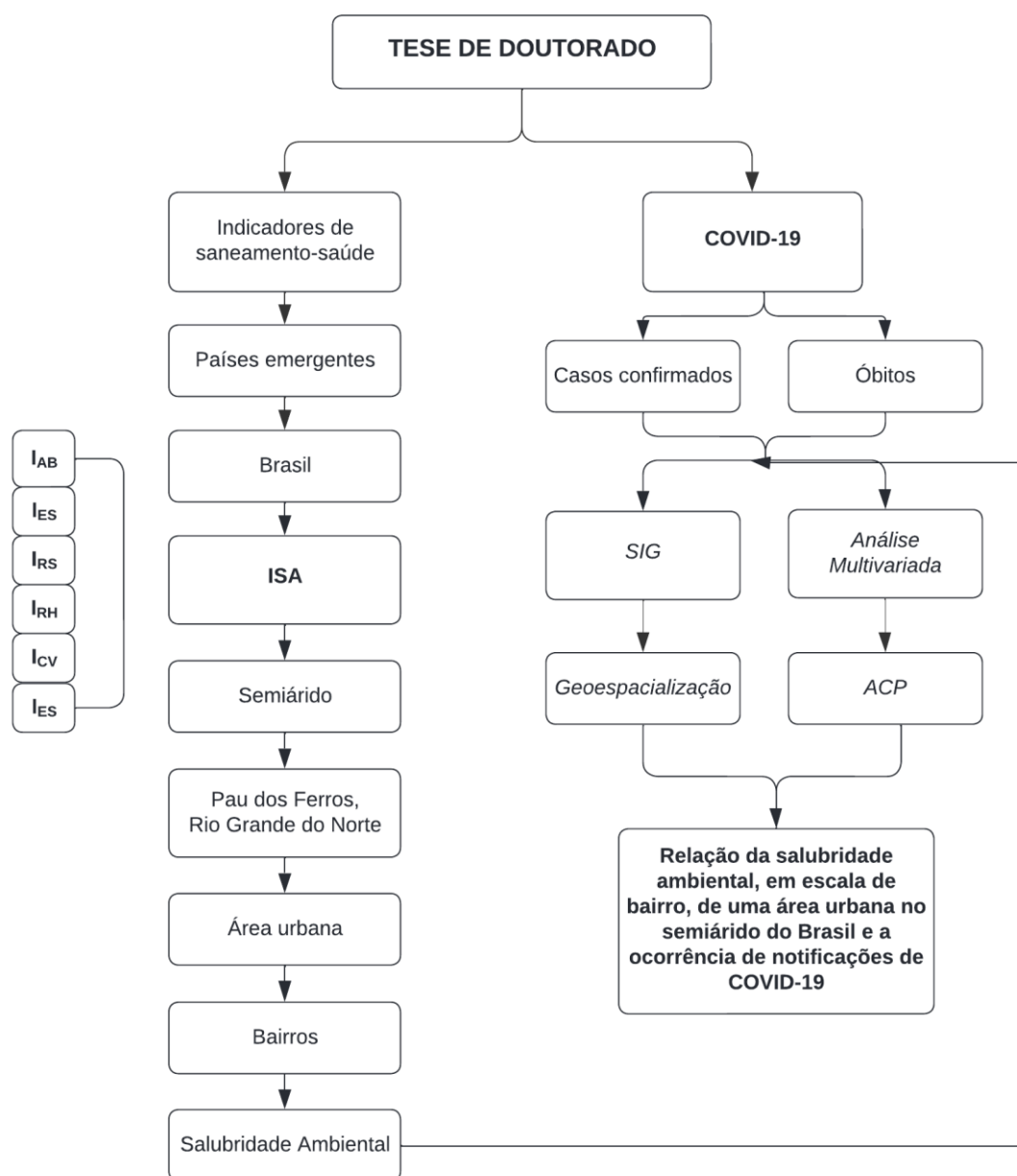
E consiste em uma pesquisa quanti-qualitativa, de caráter descritivo e exploratório, baseada nos passos metodológicos executados por Kitchenham (2004), Biolchini (2005), para a revisão sistemática; e Cozzensa (2006) e Bitew et al. (2017), para avaliação dos níveis locais de saneamento e saúde ambiental por meio do uso de delineamento, população e amostragem.

Um estudo misto, descritivo e geoespacializado foi praticado, em uma abordagem pioneira da questão ISA e COVID-19 na região semiárida.

3.2 MAPA CONCEITUAL

A seguir é apresentado um mapa conceitual, que mostra os temas centrais que subsidiaram esse estudo e a relação estabelecida entre os elementos da pesquisa (Figura 2).

Figura 2 – Mapa conceitual da pesquisa



Fonte: A autora (2022).

Esta tese foi desenvolvida a partir de duas extensas temáticas (indicadores de saúde-saneamento e COVID-19), avaliadas a partir de três procedimentos metodológicos (revisão da literatura, geoespacialização e análise estatística) para entender a relação da salubridade ambiental com a COVID-19, em escala de bairro, de uma área urbana no semiárido do Brasil.

O ponto de partida consistiu no aprofundamento sobre indicadores conjuntos de saneamento e saúde, e de salubridade ambiental em países emergentes. Para tal, uma

extensa busca da literatura foi realizada, que culminou com a elaboração de uma revisão sistemática e de uma revisão da literatura complementar.

Dado que, a revisão sistemática segue um protocolo pré-determinado para sua execução, uma parte expressiva das publicações do ISA, cujo rigor científico não estava contemplado nos critérios de inclusão e exclusão, não foi recuperada por este método.

Deste modo, foi preciso executar uma revisão adicional, de busca livre e exaustiva, para localizar todos os tipos de publicações, incluindo resumos, resumos expandidos, trabalhos completos, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses, sobre o ISA que foram produzidas até o ano de 2022.

A partir dos achados da revisão sistemática, o uso de um indicador, originalmente brasileiro, o ISA, que foi aplicado em vários lugares do país, mas com escasso número de estudos na região semiárida do Brasil, se destacou. E dessa forma, ele foi determinado como objeto de análise para esta pesquisa.

Do período do estudo inicial (com escolha de descritores para a busca de artigos da revisão sistemática) ao período final (com a análise da relação salubridade ambiental e ocorrência de COVID-19) foram executadas cinco etapas, que dividem e explicam, cada fase deste trabalho (Quadro 8).

Quadro 8 – Descrição, objetivo e meio utilizado em cada etapa da pesquisa

Continua

Etapa	Descrição	Objetivo	Meio
1	Extenso estudo sobre indicadores conjuntos de saneamento e saúde ambiental, e de salubridade ambiental	Ter conhecimento aprofundado sobre o tema	Revisão sistemática
2	Seleção da área de estudo	Verificar quais áreas foram menos contempladas por pesquisas na temática	
3	Avaliação da Salubridade Ambiental	Determinar a salubridade ambiental com os indicadores de abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos urbanos, controle de vetores, riscos de recursos hídricos e socioeconômicos.	Uso do ISA a partir de dados primários e secundários

Quadro 8 – Descrição, objetivo e meio utilizado em cada etapa da pesquisa

			Conclusão
Etapa	Descrição	Objetivo	Meio
4	Identificação de casos de COVID-19 nos bairros selecionados	Obter dados sobre COVID-19	Boletins epidemiológicos da Secretaria de Saúde Estadual
5	Análise integrada da salubridade ambiental dos bairros com os casos de COVID-19	Associar e geoespacialização dos casos de COVID-19 com o ISA	Utilização de SIG e PCA

Fonte: A autora (2022).

3.3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Neste estudo, a revisão da literatura foi realizada a partir de um protocolo sistemático, que está descrito, detalhadamente, neste item (3.3); bem como, seus desfechos estão disponíveis na seção de resultados (item 4.1) da tese, por ser parte dos achados desta pesquisa.

Uma extensa pesquisa, de indicadores sob perspectiva conjunta de saneamento e saúde ambiental e de salubridade ambiental foi executada com a finalidade de ter conhecimento atualizado e aprofundado sobre o tema. Como nem todas as publicações, sobre o uso do ISA no Brasil, foram recuperadas pelo protocolo sistematizado, uma busca livre e exaustiva foi realizada a fim de identificar todos os trabalhos que aplicaram o indicador que resultaram em uma revisão complementar.

A maioria das utilizações de ISA no país resultaram em trabalhos acadêmicos, como monografias, dissertações e teses. Razões pelas quais, estes não foram recuperados pelas bases usadas para a revisão sistemática, que teve como foco de procura, artigos com texto completo. Os achados da revisão complementar, foram apresentados no item 2 da tese.

3.3.1 Estratégia de pesquisa

O processo usado para elaboração da revisão sistemática é originário de um ajuste de modelos já desenvolvidos por Kitchenham (2004) e Biolchini (2005).

A execução da revisão contou com cumprimento de quatro etapas sequenciais para elegibilidade dos artigos: (3.3.2) protocolo de revisão (elaboração da pergunta de pesquisa), (3.3.3) condução da revisão, (3.3.4) avaliação e extração dos dados, e (3.3.5) sumarização dos resultados.

3.3.2 Protocolo da revisão

A fase inicial consistiu na elaboração e uso de um formulário de protocolo de revisão para definir as questões norteadoras da pesquisa, a seguir apresentados:

- (i) objetivo da revisão: identificar, analisar e sintetizar os resultados de estudos acerca do uso de indicadores ambientais sob a perspectiva integrada do saneamento e da saúde;
- (ii) questão a ser respondida: qual a finalidade de uso dos indicadores ambientais aplicados ao saneamento e saúde?;
- (iii) foco: indicadores ambientais de saneamento e saúde;
- (iv) intervenção: quais os indicadores ambientais aplicados ao saneamento e saúde?;
- (v) controle: revisões sistemáticas e trabalhos anteriores na área;
- (vi) população: artigos que propõem ou aplicam indicadores ambientais ao saneamento e saúde;
- (vii) resultados: visão abrangente por temática/área dos usos e finalidades de indicadores ambientais ao saneamento e saúde;
- (viii) aplicação: na área do saneamento e saúde ambiental, especificamente para pesquisadores de países em desenvolvimento como o Brasil, e orientação para tomada de decisão pelos gestores de políticas públicas.

3.3.3 Condução da revisão

O processo completo para a revisão ocorreu entre 30 de agosto de 2019 e 29 de fevereiro de 2020, por um período de seis meses. As pesquisas foram realizadas por meio dos buscadores nas plataformas *Scopus* e *Scielo*.

O *Scopus* foi selecionado como base de dados para a busca de artigos científicos em decorrência de seu caráter multidisciplinar, internacional e do amplo volume de

publicações indexadas, revisadas por pares, desde 1823 até a presente data. O *Scielo* também foi escolhido por reunir, maiormente, as pesquisas da América Latina.

No levantamento das publicações nas duas bases, considerou-se todos os anos e áreas temáticas, nas quais nos títulos, nas palavras-chave e nos resumos, apresentassem os descritores "*indicator*" ou "*index*" e "*environmental*" e "*sanitation*" e "*health*" (indicador ou índice e ambiental e saneamento e saúde), tais buscadores recuperaram o maior número de artigos, em ambas as bases de dados.

Os termos foram refinados entre aspas para que os trabalhos recuperados fossem restritos a tais palavras. Os descritores foram usados na língua inglesa, por ser a predominante nas publicações científicas internacionais e porque as publicações em português e espanhol, em geral, apresentam palavras-chave em inglês. As informações que delimitam a condução da revisão são apresentadas no Quadro 9.

Quadro 9 – Condução de revisão para execução da pesquisa

Item	Descrição
Critérios de seleção de fontes	Consulta de artigos disponível por meio da <i>web</i> Possibilidade de buscadores com uso de palavras-chave Garantia de resultados exclusivos mediante a busca de um mesmo conjunto de palavras-chave
Mecanismo de busca de fonte	Acesso das fontes de forma digital (através da <i>web</i>) A busca manual não foi considerada para uso nessa revisão
Fonte	<i>Scopus</i> e <i>Scielo</i>
Período de busca	30 de agosto de 2019 e 29 de fevereiro de 2020
Palavras-chave	Indicador, índice, ambiental, saneamento, saúde
Operadores booleanos	ou, e
Descritores	("indicator" ou "index") e "environmental" e "sanitation" e "health")
Tipologia dos estudos	Artigos
Idioma dos artigos	Inglês, português e espanhol. A língua inglesa foi escolhida por se tratar de um idioma universal da pesquisa científica, enfaticamente no âmbito da área-objeto de estudo. As línguas portuguesa e espanhola também foram selecionadas para esta revisão, para contemplar os trabalhos de pesquisadores latino-americanos

Fonte: Adaptado de Mafra e Travassos (2005).

3.3.4 Avaliação e extração dos dados

Na avaliação dos artigos considerou-se aspectos que, se atendidos (critérios de inclusão), permitiam a inclusão do artigo; se não atendidos (critérios de exclusão), o artigo era eliminado da listagem de trabalhos que compuseram esta revisão.

Os critérios de inclusão previstos exigiram que (i) os artigos precisariam estar disponíveis na *web*; (ii) os artigos deviam apresentar textos completos dos estudos em formato eletrônico; (iii) os artigos necessitariam estar escritos em inglês, português ou espanhol; e (iv) os artigos abordassem o uso de indicadores ambientais na perspectiva do saneamento e da saúde.

Os critérios de exclusão consistiram na rejeição (i) dos artigos que não atendessem aos critérios de inclusão; (ii) de uma das versões de artigos duplicados, quando qualquer das versões estivesse em uma ou em ambas as bases.

O refino dos resultados do levantamento foi realizado por publicações de periódicos nacionais e internacionais. Na extração de dados, para cada estudo avaliado, foram documentados os autores, ano, título, idioma, categoria/indicador, método, subdivisão, área de estudo, tipo de pesquisa e periódico de publicação.

3.3.5 Sumarização dos resultados

No total, 701 artigos foram recuperados, sendo 670 do *Scopus* e 31 do *Scielo*. Após a verificação de título, resumo e aplicados os critérios de inclusão e exclusão, 80 foram escolhidos para análise de texto completo, dos quais 65 do *Scopus* e 15 do *Scielo*. Ao todo, 10 artigos estavam duplicados entre si, 4 do *Scopus* e 6 do *Scielo*.

Em seguida, realizada a leitura integral dos 80 artigos, foram selecionados para esta revisão 25 trabalhos, os quais tiveram os seus dados extraídos e analisados, conforme as indicações prognosticadas no protocolo de revisão. Dos artigos incluídos na revisão, 10 foram recuperados, concomitantemente, por ambas as bases; 14, somente pelo *Scopus*; e 1, apenas pelo *Scielo*.

Os achados foram relatados por meio de síntese narrativa estruturada, que incluiu a finalidade de uso do indicador, as variáveis e subindicadores inseridos na composição do indicador; como também, a contribuição do estudo à comunidade científica. Como uma grande variabilidade entre os indicadores era prevista e foi validada nesta revisão, nenhuma meta-análise foi realizada.

O escopo da pesquisa em verificar quais eram os indicadores e a sua finalidade de utilização, conforme abordados nos trabalhos analisados, permitiu um agrupamento dos dados. No entanto, em face da grande quantidade de artigos selecionados, foi necessário estabelecer um critério que pudesse agregá-los de uma forma mais abrangente.

Assim, mesmo que todos os artigos listados abordassem indicadores ambientais na perspectiva integrada do saneamento e da saúde (conforme critérios de seleção e inclusão), optou-se por agrupá-los em três categorias de acordo com a área de aplicação predominante: (i) Indicador de Salubridade Ambiental (I_{SA}), (ii) Indicador de Saneamento Ambiental (I_{SAN}); e (iii) Indicador de Saúde Ambiental (I_{SAU}).

Esta revisão envolveu um protocolo predeterminado indutivo, não exaustivo e se beneficiou do debate colaborativo. Este material reuniu conteúdo de referência publicado principalmente nas áreas de ciências ambientais, saneamento, saúde ambiental, saúde pública e engenharia ambiental. Nenhum campo foi excluído intencionalmente.

Ademais, os artigos recuperados, por meio da revisão sistemática, também foram usados para verificar, quais são as áreas menos contempladas por estudos, sobre indicadores conjuntos de saneamento e saúde ambiental, e de salubridade ambiental.

3.4 ÁREA DE ESTUDO

Os achados da revisão sistemática subsidiaram a seleção do local de estudo, pois mostraram a baixa recuperação de artigos que aplicaram indicadores conjuntos de saneamento e saúde ambiental, e de salubridade ambiental na região semiárida do Brasil.

Somado aos resultados da revisão sistemática, também foi considerado para a escolha da área de estudo, a relevância do local para sua região. Em atendimento a tais pré-requisitos, a área urbana do município de Pau dos Ferros foi definida como objeto de pesquisa.

A cidade de Pau dos Ferros está situada em município homônimo, que fica no estado do Rio Grande do Norte, na região Nordeste do Brasil. O município possui área de 259,959 km² (IBGE, 2019), densidade demográfica de 106,73 hab/km² (IBGE, 2010) e população estimada de 30.452 habitantes (IBGE, 2019), que é majoritariamente urbana (92%).

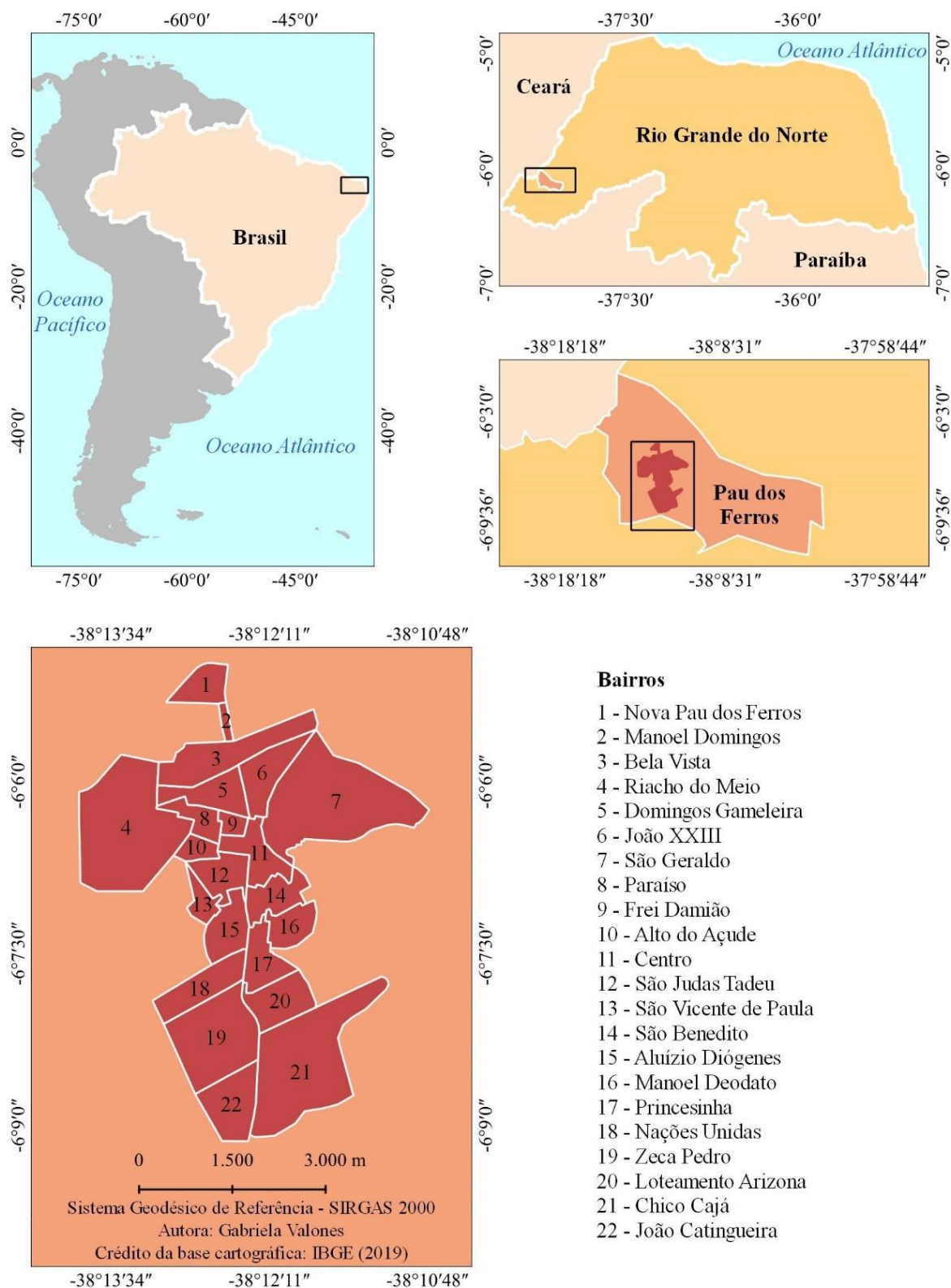
Apesar de ter uma população inferior a 100 mil habitantes e por isso, se enquadrar como uma cidade de pequeno porte, Pau dos Ferros é considerada uma cidade (inter)média, em função da capacidade de influência para os municípios do entorno, que

é semelhante a de capitais regionais como Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte; Campina Grande, no estado da Paraíba; e Juazeiro do Norte, no estado do Ceará (DANTAS, 2014).

Pau dos Ferros é um município situado na região do semiárido brasileiro que apresenta, em valores médios anuais, precipitação de 832 milímetros, temperatura de 27,9°C, umidade de 57,1%50 (EMPARN, 2020) e índice ultravioleta de 9 (INPE, 2022).

Esta pesquisa contemplou 20 dos 22 bairros que constituem a área urbana de Pau dos Ferros, compreendendo uma área de 9,726 km² (Figura 3). Devido à pandemia, o levantamento dos bairros João Catingueira e Arizona foi, temporariamente, impossibilitado.

Figura 3 – Localização da área urbana de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil e sua divisão territorial por bairro



Fonte: A autora (2022).

3.5 OBTENÇÃO E SELEÇÃO DE DADOS

Dados de fontes primárias e secundárias foram utilizados para o cálculo do ISA, bem como, para a geoespacialização em conjunto com as notificações de COVID-19, nos bairros de Pau dos Ferros.

3.5.1 Dados primários

As informações originais foram obtidas por meio de uma pesquisa domiciliar realizada no período novembro de 2019 a janeiro de 2020 em 20 bairros da área urbana de Pau dos Ferros, foram eles: Alto do Açude, Aluísio Diógenes, Bela Vista, Centro, Chico Cajá, Nações Unidas, Domingos Gameleira, Frei Damião, João XXIII, Manoel Deodato, Manoel Domingos, Nova Pau dos Ferros, Paraíso, Princesinha, Riacho do Meio, São Benedito, São Geraldo, São Judas Tadeu, São Vicente de Paula e Zeca Pedro.

O treinamento prévio dos entrevistadores e a elaboração de um questionário estruturado padrão (Apêndice A), com perguntas objetivas, possibilitou que as entrevistas fossem realizadas de modo relativamente rápido, com um tempo médio de resposta, de aproximadamente cinco minutos.

3.5.1.1 População e amostra

Uma consulta à população residente, nos 20 bairros estudados na cidade de Pau dos Ferros, foi realizada. Em cada um dos bairros selecionados, um logradouro e um domicílio, escolhidos de forma aleatória, foram definidos como ponto de partida para a aplicação dos questionários. Apenas um morador por domicílio foi entrevistado. Os critérios de exclusão consistiram em ser menor que 18 anos de idade e não residir no domicílio do bairro em análise.

Quando não foram localizadas mais pessoas que puderam ser incluídas no estudo, o entrevistador passava para a residência imediata do lado direito (estando de frente para o domicílio) repetindo o método, continuamente, até que, a quantidade de questionários estabelecida pela amostragem para o bairro, fosse alcançada.

3.5.1.2 Tamanho da amostra

O tamanho da amostra, para representar, estatisticamente, as condições de salubridade ambiental de cada bairro, foi calculado por amostragem estratificada proporcional, conforme Equação 1:

Equação 1 – Fórmula para cálculo do tamanho da amostra

$$\text{Tamanho da amostra} = \frac{\frac{z \cdot p(1-p)}{e^2}}{1 + \left(\frac{z^2 \cdot p(1-p)}{e^2 N} \right)}$$

Legenda: N = tamanho da população; e = margem de erro (porcentagem na forma decimal); z = *z-score*.

Fonte: Triola (1999).

O *z-score* é o número de desvios padrão entre determinada proporção e a média. O *z-score* adequado é definido mediante consulta a Tabela 1.

Tabela 1 – Valor do *z-score* em função do nível de confiança desejado

Nível de confiança desejado	80%	85%	90%	95%	99%
<i>z-score</i>	1,28	1,44	1,65	1,96	2,58

Fonte: Triola (1999).

O número de domicílios de cada bairro foi obtido por meio da Secretaria de Tributação de Pau dos Ferros (2018). Para o cálculo foi considerado um nível de confiança de 99%, erro de 2% e acréscimo de 10% no valor da amostra corrigida, para perdas e recusas. Os critérios de cálculo da amostra, bem como o seu tamanho final para os bairros, estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Critérios de cálculo do tamanho da amostra estratificada

Continua						
Bairro	Número de domicílios	Amostra	Amostra corrigida	Perdas e recusas (+10%)	Amostra total	Amostra final
Alto do Açude	408	134,3156405	134	13,4	147,4	147
Aluízio Diógenes	120	39,50460014	40	4	44	44
Bela Vista	149	49,05154518	49	4,9	53,9	54
Centro	1879	618,5761972	619	61,9	680,9	681

Tabela 2 – Critérios de cálculo do tamanho da amostra estratificada

Bairro	Número de domicílios	Amostra	Amostra corrigida	Perdas e recusas (+10%)	Conclusão	
					Amostra total	Amostra final
Chico Cajá	221	72,75430526	73	7,3	80,3	80
Domingos	287	94,48183534	94	9,4	103,4	103
Gameleira						
Frei Damião	135	44,44267516	44	4,4	48,4	48
João XXIII	490	161,3104506	161	16,1	177,1	177
Manoel Deodato	219	72,09589526	72	7,2	79,2	79
Manoel Domingos	203	66,82861524	67	6,7	73,7	74
Nações Unidas	301	99,09070536	99	9,9	108,9	109
Nova Pau dos Ferros	36	11,85138004	12	1,2	13,2	13
Paraíso	313	103,0411654	103	10,3	113,3	113
Princesinha do Oeste	603	198,5106157	199	19,9	218,9	219
Riacho do Meio	767	252,5002359	253	25,3	278,3	278
São Benedito	1186	390,4371314	390	39	429	429
São Geraldo	402	132,3404105	132	13,2	145,2	145
São Judas Tadeu	549	180,7335456	181	18,1	199,1	199
São Vicente de Paula	90	29,62845011	30	3	33	33
Zeca Pedro	120	39,50460014	40	4	44	44
Total	8478	2791	2792	279,2	3071,2	3071

Fonte: A autora (2022).

Para a obtenção das informações, indispensáveis à mensuração do ISA nos bairros, 3071 questionários foram aplicados, conforme distribuição acima apresentada.

3.5.1.3 Instrumento e variáveis

O questionário (Apêndice A), usado para o levantamento dos dados primários da pesquisa, abrangeu um grupo específico de variáveis e de perguntas associadas a particularidade de cada indicador de 2ª ordem do ISA (Quadro 10).

Quadro 10 – Variável e pergunta no questionário referente aos indicadores de 2ª ordem do ISA

Continua

Variável	Pergunta no questionário	Indicador de 2ª ordem do ISA
Água	1.1 Sua residência está ligada à rede pública de água? 1.2 Qual a principal forma de abastecimento?	I _{CA}
Esgoto	2.1 Sua residência está ligada a rede pública de esgoto? 2.2 Residência possui fossa?	I _{CE}
Resíduos	3.1 Sua residência é atendida com o serviço de coleta de lixo?	I _{CR}
Vetores	4.1 Há presença de mosquito/pernilongo na residência? 4.2 Você ou outro morador da residência, já teve caso confirmado de dengue? 4.3 (Se sim), quantos casos? 4.4 Há quanto tempo? 4.5 Você ou outro morador da residência já teve caso confirmado de esquistossomose? 4.6 (Se sim), quantos casos? 4.7 Há quanto tempo? 4.8 Você ou outro morador da residência já teve caso confirmado de leptospirose? 4.9 (Se sim), quantos casos? 4.10 Há quanto tempo?	I _{VD} , I _{VE} e I _{VL}
Socioeconômica	5.1 Faixa etária. 5.2 Sexo. 5.3 Escolaridade. 5.4 Renda familiar. 5.5 Maiores de 18 anos desempregados. 5.6 Quantidade de moradores na casa.	I _{RF} , I _{ED}

Fonte: A autora (2022).

Os questionários foram aplicados por aplicadores treinados com posterior verificação de controle de qualidade, que foi realizada pela pesquisadora responsável.

3.5.1.4 Seleção e treinamento dos aplicadores

O grupo dos aplicadores foi constituído por discentes da graduação, integrantes de grupo de pesquisa. Um treinamento específico aos aplicadores foi ministrado na tentativa de prever cenários e possíveis dificuldades quanto ao trabalho de campo, e para

viabilizar a qualidade e padronização da coleta de dados. A técnica de dramatização da aplicação do questionário foi a base do treinamento como é descrito no Quadro 11.

Quadro 11 – Fase, etapa e finalidade da técnica de dramatização do questionário para o levantamento de dados primários nos bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Fase	Etapa	Finalidade
1	Leitura do questionário e do manual de instruções	Possibilitar aos aplicadores, em treinamento, o contato inicial com o questionário e as orientações sobre como aplicá-lo.
2	Simulação da aplicação do questionário	Reproduzir e solucionar problemas que possam comprometer a confiabilidade dos dados coletados.
3	Entrevistas acompanhadas	Verificar a desenvoltura do aplicador na execução do trabalho de campo.

Fonte: Adaptado de Cozzensa (2006).

O método de controle de qualidade (COZZENSA, 2006), foi aplicado para uniformizar a coleta das informações, identificar interpretações incorretas e omissão de questões ou de questionários, preconizando a confiabilidade da pesquisa. Para tal, as seguintes etapas apresentadas no Quadro 12 foram executadas.

Quadro 12 – Fase, etapa e finalidade do controle de qualidade da aplicação dos questionários

Fase	Etapa	Finalidade
1	Revisão pós-aplicação	Revisar o questionário, imediatamente após sua aplicação, para impedir o esquecimento de qualquer pergunta.
2	Revisão imediata	Solucionar prováveis problemas na obtenção dos dados, a pesquisadora responsável analisou, em tempo igual e detalhadamente, os questionários que foram aplicados durante a semana.
3	Revisita	Resolver problemas de má interpretação das questões e confiança dos dados obtidos, por meio de aplicação de, 5% das perguntas (pré-sorteadas) a 5% dos entrevistados, pela pesquisadora responsável.

Fonte: Adaptado de Cozzensa (2006).

3.5.1.5 Estudo piloto

Após o treinamento, um estudo piloto foi praticado com aplicação de 30 questionários a moradores do bairro Centro. Que teve a finalidade de detectar o tempo gasto pelos entrevistados para responder ao questionário, identificar possíveis problemas na aplicação dos questionários e verificar as imprecisões referentes a circunstâncias

específicas que tenham ocorrido. Tais pontos foram debatidos, para os ajustes necessários, com a pesquisadora responsável.

3.5.1.6 Processamento dos dados

Os questionários foram digitados, revisados três vezes e codificados por bairro, como é mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Bairro, código e intervalo de questionários da aplicação em Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Bairro	Código	Intervalo de questionários
Alto do Açude	ADA	ADA0001 – ADA0147
Aluizio Diógenes	ALD	ALD0001 – ALD0044
Bela Vista	BEV	BEV0001 – BEV0054
Centro	CEN	CEN0001 – CEN0681
Chico Cajá	CHC	CHC0001 – CHC0080
Domingos Gameleira	DOG	DOG0001 – DOG0103
Frei Damião	FRD	FRD0001 – FRD048
João XXIII	JXX	JXX0001 – JXX0177
Manoel Deodato	MDE	MDE0001 – MDE0079
Manoel Domingos	MDO	MDO0001 – MDO0074
Nações Unidas	NCU	NCU0001 – NCU0109
Nova Pau dos Ferros	NPF	NPF0001 – NPF0013
Paraíso	PAR	PAR0001 - PAR0113
Princesinha do Oeste	PCE	PCE0001 – PCE0219
Riacho do Meio	RDM	RDM0001 – RDM0278
São Benedito	SBE	SBE0001 – SBE0429
São Geraldo	SGE	SGE0001 – SGE0145
São Judas Tadeu	SJT	SJT0001 – SJT0199
São Vicente de Paula	SVP	SVP0001 – SVP0033
Zeca Pedro	ZCP	ZCP0001 – ZCP0044

Fonte: A autora (2022).

3.5.1.7 Aspectos éticos

A pesquisa em campo envolveu, unicamente, a aplicação de questionários. Nenhum tipo de material biológico foi coletado. A participação dos entrevistados se deu de forma voluntária e anônima, bem como, foi explicado e garantido o direito de recusa.

Os questionários foram aplicados a uma população de renda e escolaridade baixas, que se mostrou insegura e inapta (no caso dos que não eram alfabetizados) para assinar um termo de consentimento. Deste modo, optou-se pelo consentimento verbal informado. Ciente da responsabilidade, em assegurar a compreensão por parte dos entrevistados sobre os fatores gerais do estudo, como também da garantia de se negar a participar da pesquisa, essa instrução foi ministrada no treinamento dos aplicadores.

Com isso, a instrução aos aplicadores, para os participantes, consistiu em explicar o objetivo da pesquisa, os critérios de exclusão, o direito sair da pesquisa em qualquer momento sem prejuízo algum, os benefícios ao pesquisado direta ou indiretamente e os veículos que seriam empregados para a divulgação dos resultados.

3.5.2 Dados secundários

Os dados secundários referem-se aos bancos de informações de domínio público, que foram consultados e usados, para compor os resultados na pesquisa.

3.5.2.1 Notificações de COVID-19

Os dados da COVID-19 foram extraídos dos boletins epidemiológicos emitidos pela Secretaria de Estado da Saúde Pública do Rio Grande do Norte – SESAP, em sua versão unificada em planilha eletrônica. A estratificação por bairro das notificações de COVID-19 foi realizada a partir do primeiro caso confirmado no município (05 de abril de 2020) até a 21ª semana epidemiológica (28 de maio de 2021).

Todos os casos confirmados e óbitos por COVID-19 presentes no sistema da SESAP, no período de abril de 2020 a maio de 2021, foram avaliados. A taxa de letalidade da doença provocada pelo novo coronavírus foi calculada através da razão entre número de óbitos por bairro dividido pelo total de casos confirmados no município.

3.5.2.2 Informações cartográficas

Os dados para a elaboração dos mapas da divisão territorial por bairro foram acessados através de informações disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2020).

3.6 COMPOSIÇÃO, CÁLCULO E CLASSIFICAÇÃO DO ISA

O ISA é um instrumento de 1ª ordem aplicado para avaliação qualitativa e quantitativa do gerenciamento de sistemas de saúde e saneamento ambiental. O indicador é composto pela média ponderada de 6 indicadores específicos de 2ª e 3ª ordem (Quadro 13). A pontuação do ISA varia de zero a um. Quanto maior seu valor, maior é a salubridade ambiental. O cálculo do indicador é realizado por meio da equação:

$$ISA = 0,25.I_{AB} + 0,25.I_{ES} + 0,25.I_{RS} + 0,10.I_{CV} + 0,10.I_{RH} + 0,05.I_{SE} \quad (\text{CONESAN, 1999}).$$

Quadro 13 – Indicadores de 2ª e 3ª ordem e respectivos critérios de cálculo, finalidade dos indicadores de 3ª ordem, natureza dos dados e as fontes das informações adotados para o cálculo do ISA em Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Continua

Indicador de 2ª ordem / critério de cálculo	Indicador de 3ª ordem / critério de cálculo	Finalidade	Natureza dos dados	Fonte
Indicador de Abastecimento de Água – I_{AB} $I_{AB} = \frac{(I_{CA} + I_{QA} + I_{SA})}{3}$	Indicador de Cobertura de Abastecimento de Água - Atendimento – I_{CA} $I_{CA} = \frac{D_{UA}}{D_{UT}} \cdot 100$	Quantificar os domicílios atendidos por sistemas de abastecimento de água com controle sanitário	Primária	Pesquisa domiciliar – variável água (2019/2020)
	Indicador de Qualidade da Água Distribuída – I_{QA} $I_{QA} = K \times \frac{N_{AA}}{N_{AR}} \cdot 100$	Monitorar a qualidade da água fornecida	Secundária	Relatório anual da Caern (2019)
	Indicador de Saturação do Sistema Produtor- Qualidade – I_{SA} $n = \frac{\log \frac{C_p}{V_p \cdot (\frac{K_2}{K_1})}}{\log (1+t)}$	Comparar a oferta e a demanda de água; programar ampliações ou novos sistemas produtores e programas de controle de perdas		Aesbe; Caern; Igarn; Leite e Moura (2019), Brasil (2020)
Indicador de Esgotamento Sanitário – I_{ES} $I_{CE} = \frac{D_{UE}}{D_{UT}} \cdot 100$	Indicador de Cobertura em Coleta de Esgoto e Tanques Sépticos – I_{CE} $I_{CE} = \frac{D_{UE}}{D_{UT}} \cdot 100$	Quantificar os domicílios atendidos por redes de esgoto e/ou tanques sépticos	Primária	Pesquisa domiciliar – variável esgoto (2019/2020)
	Indicador de Esgoto Tratado e Tanques Sépticos – I_{TE} $I_{TE} = I_{CE} \cdot \frac{V_T}{V_C} \cdot 100$	Indicar a redução da carga poluidora		
	Indicador de Saturação do Tratamento de Esgoto – I_{SE} $n = \frac{\log \frac{C_T}{V_C}}{\log (1+t)}$	Comparar a oferta e a demanda das instalações existentes e programar novas instalações ou ampliações		

Quadro 13 – Indicadores de 2ª e 3ª ordem e respectivos critérios de cálculo, finalidade dos indicadores de 3ª ordem, natureza dos dados e as fontes das informações adotados para o cálculo do ISA em Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Continuação

Indicador de 2ª ordem / critério de cálculo	Indicador de 3ª ordem / critério de cálculo	Finalidade	Natureza dos dados	Fonte
Indicador de Resíduos Sólidos – I _{RS} $I_{RS} = \frac{(I_{CR} + I_{QR} + I_{SR})}{3}$	Indicador de Coleta de Lixo – I _{CR} $I_{CR} = \frac{D_{UC}}{D_{UT}} \cdot 100$	Quantificar os domicílios atendidos por coleta de lixo	Primária	Pesquisa domiciliar – variável resíduos (2019/2020)
	Indicador de Tratamento e Disposição Final dos Resíduos Sólidos – I _{QR} I _{QR} - Índice de qualidade de aterros de resíduos sólidos domiciliares - Cetesb	Qualificar a situação da disposição final dos resíduos.	Secundária	Nobre et al. (2021); Valones e Da Silva (2018), Cetesb (2015)
	Indicador de Saturação do Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos – I _{SR} $n = \frac{\log\left(\frac{C_A \cdot t}{V_L} + 1\right)}{\log(1+t)}$	Indicar a necessidade de novas instalações.		
Indicador de Controle de Vetores – I _{CV} $I_{CV} = \frac{I_{VD} + I_{VE} + I_{VL}}{2}$	Indicador de Dengue – I _{VD}	Identificar a necessidade de programas corretivos e preventivos de redução e eliminação de vetores, transmissores e/ou hospedeiros da doença.	Primária e secundária	Pesquisa domiciliar – variável vetores (2019/2020), DataSUS (2015-2019), Sesap (2019)
	Indicador de Esquistossomose – I _{VE}			
	Indicador de Leptospirose – I _{VL}	Indicar a necessidade de programas preventivos de redução e eliminação de ratos.		
Indicador de Recursos Hídricos – I _{RH} $I_{RH} = \frac{I_{QB} + I_{DM} + I_{FI}}{3}$	Indicador Qualidade da Água Bruta – I _{QB}	Qualificar a situação da água bruta ou risco geográfico.	Secundária	Aesbe; Caern; Igarn; Leite e Moura (2019), Brasil (2020)
	Indicador de Disponibilidade dos Mananciais – I _{DM}	Quantificar a disponibilidade dos mananciais em relação à demanda.		
	Indicador de Fontes Isoladas – I _{FI}	Abrange o controle das águas utilizadas pelas populações em áreas urbanas não atendidas pelos serviços oficiais de abastecimento.		

Quadro 13 – Indicadores de 2ª e 3ª ordem e respectivos critérios de cálculo, finalidade dos indicadores de 3ª ordem, natureza dos dados e as fontes das informações adotados para o cálculo do ISA em Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Conclusão

Indicador de 2ª ordem / critério de cálculo	Indicador de 3ª ordem / critério de cálculo	Finalidade	Natureza dos dados	Fonte
Indicador Socioeconômico – I _{SE} $ISE = \frac{ISP + IRF + IED}{3}$	Indicador de Saúde Pública Vinculada ao Saneamento – I _{SP}	Indicar a possibilidade dos serviços de saneamento inadequados, que podem ser avaliados através de mortalidade infantil e de idosos ligada a doenças de veiculação hídrica.	Secundária	DataSUS (2015 – 2019)
	Indicador de Renda – I _{RF}	Indicar a capacidade de pagamento da população pelos serviços e a capacidade de investimento pelo município.	Primária	Pesquisa domiciliar – variável socioeconômica (2019/2020)
	Indicador de Educação – I _{ED}	Indicar a linguagem de comunicação a ser utilizada nas campanhas de educação sanitária e ambiental.		

Legenda: IAB = Indicador de Abastecimento de Água; ICA = Índice de Cobertura de Abastecimento de Água; DUA = Domicílios Urbanos Atendidos (públicos e particulares); DUT = Domicílios Urbanos Totais; IQA = Indicador de Qualidade de Água; K = número de amostras mínimas obrigatórias ÷ número de amostras analisadas; NAA = quantidade de amostra considerada de água potável referente ao cloro residual livre, à turbidez, à cor aparente e aos coliformes totais da Portaria de Consolidação nº 5 de 2017; NAR = quantidade de amostras realizadas; ISA = Indicador de Saturação do Sistema Produtor-Qualidade; n = número de anos em que o sistema ficará saturado; VP = volume de produção necessário para atender 100% da população atual; CP = capacidade de produção; t = taxa de crescimento anual média da população urbana para os cinco anos subsequentes ao ano da elaboração do ISA; K1 = perda atual; K2 = perda prevista para cinco anos; IES = Indicador de Esgotamento Sanitário; ICE = Indicador de Cobertura em Coleta de Esgoto e Tanques Sépticos; DUE = domicílios urbanos atendidos por coleta mais tanques sépticos; DUT = domicílios urbanos totais; ITE = Indicador de Esgoto Tratado e Tanques Sépticos; VT = Volume tratado de esgotos medido ou estimado nas estações em áreas servidas por rede de esgotos; VC = Volume coletado de esgotos; ISE = Indicador de Saturação do Tratamento de Esgoto; CT = capacidade de tratamento; t = taxa de crescimento anual média da população urbana para os cinco anos subsequentes ao ano da elaboração do ISA; ICR = Indicador de Coleta de Lixo; DUC = Domicílios urbanos atendidos por coleta de lixo; D_{UT} = Domicílios urbanos totais; I_{QR} = Indicador de Tratamento e Disposição Final dos Resíduos Sólidos; n = número de anos em que o sistema ficará saturado; VL = volume coletado de lixo; CA = capacidade restante do aterro; I_{SR} = Indicador de Saturação do Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos; I_{CV} = Indicador de Controle de Vetores; I_{VD} = Indicador de Dengue; I_{VE} = Indicador de Esquistossomose; I_{VL} = Indicador de Leptospirose; I_{RH} = Indicador de Riscos de Recursos Hídricos; I_{QB} = Indicador Qualidade da Água Bruta; I_{DM} = Indicador de Disponibilidade dos Mananciais; Disp = Disponibilidade, água em condições de tratabilidade para abastecimento; Dem = Demanda (considerar a demanda futura de 10 anos); I_{FI} = Indicador de Fontes Isoladas; N_{AA} = Quantidade de amostras consideradas potáveis relativamente a colimetria e turbidez; I_{SE} = Indicador Socioeconômico; I_{SP} = Indicador de Saúde Pública Vinculada ao Saneamento; I_{MH} = Indicador relativo à mortalidade infantil (0 a 4 anos) ligada a doença de veiculação hídrica; I_{MR} = Indicador relativo à média de mortalidade infantil (0 a 4 anos) e de idosos (acima de 65 anos) ligados a doenças respiratórias; I_{3S} = Indicador de distribuição de renda menor que 3 (três) salários mínimos; I_{ED} = Indicador de Educação; I_{NE} = Indicador da porcentagem da população sem nenhuma escolaridade; I_{E1} = Indicador da porcentagem da população com escolaridade até 1º grau.

Fonte: A autora (2022).

O ISA foi calculado para o ano de 2019, pelos dados utilizados serem oriundos de fontes primárias e secundárias, majoritariamente, obtidas nesse ano. As informações originais foram adquiridas por meio de extensa pesquisa domiciliar, com aplicação de 3071 questionários nas residências dos 20 bairros da zona urbana de Pau dos Ferros.

A população equivalente de cada bairro foi estimada, já que esse dado era inexistente ou não estava documentado pelos órgãos oficiais pesquisados. O cálculo foi realizado por intermédio do número de domicílios de cada bairro, informados pela Secretaria de Tributação de Pau dos Ferros – SETRI (2018) multiplicado por 3,44 que é a quantidade média de moradores por domicílio particular ocupado no município (IBGE, 2010), conforme é mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 – População equivalente estimada, população equivalente estimada corrigida e população equivalente estimada em relação a população total de Pau dos Ferros para 20 bairros

Bairro	População equivalente estimada (hab.)	População equivalente estimada corrigida (hab.)	População equivalente estimada em relação a população total de Pau dos Ferros (%)
Alto do Açude	1403,52	1403	4,81
Aluizio Diógenes	412,8	413	1,42
Bela Vista	512,56	513	1,76
Centro	6463,76	6464	22,16
Chico Cajá	760,24	760	2,61
Domingos Gameleira	987,28	987	3,39
Frei Damião	464,4	464	1,59
João XXIII	1685,6	1686	5,78
Manoel Deodato	753,36	753	2,58
Manoel Domingos	698,32	698	2,39
Nações Unidas	1035,44	1035	3,55
Nova Pau dos Ferros	123,84	124	0,42
Paraíso	1076,72	1077	3,69
Princesinha do Oeste	2074,32	2074	7,11
Riacho do Meio	2638,48	2639	9,05
São Benedito	4079,84	4080	13,99
São Geraldo	1382,88	1383	4,74
São Judas Tadeu	1888,56	1889	6,48
São Vicente de Paula	309,6	310	1,06
Zeca Pedro	412,8	413	1,42

Fonte: A autora (2022)

A classificação do ISA, para a determinação do nível de salubridade ambiental local, é estabelecida em função do intervalo de pontuação do indicador. Para tal, foi adotado o modelo de categorização proposto por Dias (2004), que é apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Faixa de pontuação do ISA em função do nível de salubridade ambiental

Faixa de pontuação do ISA	0,00-0,25	0,26-0,50	0,51-0,75	0,76-1,00
Nível Salubridade Ambiental	Insalubre	Baixa salubridade	Média salubridade	Salubre

Fonte: Adaptado de Dias (2004).

3.7 ANÁLISE DOS DADOS

3.7.1 Elaboração dos produtos cartográficos

Para uma melhor visualização dos resultados numéricos da pesquisa, as informações foram geoespacializadas por meio de ligação de atributos utilizando a base cartográfica dos bairros do município de Pau dos Ferros. Também foi utilizada a base cartográfica contínua do Brasil disponibilizada pelo IBGE na escala de 1:250.000 para a representação das demais localidades. Todos os produtos cartográficos dessa pesquisa estão em Coordenadas Geodésicas no Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000.

Os dados foram sumarizados na forma de mapas, mediante uso de ferramenta de geoprocessamento por meio do *software* QGIS versão 2.18, para otimizar a distribuição de aplicações de ISA no Brasil, bem como, a visualização do nível de salubridade ambiental e as notificações de casos confirmados e óbitos pela COVID-19 dos bairros estudados, concomitantemente.

3.7.2 Estatística descritiva

A estatística descritiva foi aplicada, para análise dos resultados do ISA, em medianas e quartis. Na organização dos dados, cálculos, produção de gráficos foram usadas planilhas do *software Microsoft Office Professional Plus 2016 Excel*.

3.7.3 Estatística multivariada

A *Principal Component Analysis* – PCA foi o recurso da estatística multivariada definido para a avaliação e tratamento dos dados. Esta técnica usa a transformação ortogonal para converter linearmente, uma série de variáveis potencialmente correlacionadas, em um conjunto de eixos ortogonais não correlacionados, chamados de componentes principais (HSU; TSAI; SHIAU, 2021; JANZEKOVIC; NOVAK, 2012; MAĆKIEWICZ; RATAJCZAK, 1993).

A ferramenta de PCA pode ser aplicada em diversas áreas, como a da ciência ambiental, da ecologia e do saneamento (OLIVEIRA et al., 2020; MINOGLU; KOMILIS, 2018). Em sua aplicação, fez-se o uso do método *z-score* (JANG et al., 2018; KREYSZIG, 1979), para a padronização do banco de dados, na mesma medida de escala, que favorece a interpretação das informações (WANG et al., 2013); do critério Jolliffe (1986), para determinação e seleção dos componentes principais; do *leverage correlation*, para validação das informações; e do círculo unitário, para a análise de correlação (JARDIM et al., 2014).

O *The Unscrambler* versão 9.7 foi o *software* estatístico empregado. Os bairros e indicadores utilizados no PCA estão detalhados no Quadro 14.

Quadro 14 – Indicadores utilizados na PCA

Continua

		Variável na PCA
Indicadores	Indicador de Salubridade Ambiental	ISA
	Indicador de Abastecimento de Água	I _{AB}
	Indicador de Esgotamento Sanitário	I _{ES}
	Indicador de Resíduos Sólidos	I _{RS}
	Indicador de Controle de Vetores	I _{CV}
	Indicador Socioeconômico	I _{SE}
	Casos confirmados de COVID-19	COV–C
	Óbitos por COVID-19	COV–O
	Grau de escolaridade analfabeto	EAN
	Grau de escolaridade alfabetizado	EAL
	Grau de escolaridade fundamental	EFD
	Grau de escolaridade médio	EMD
	Grau de escolaridade superior	ESP
	Grau de escolaridade pós-graduação	EPG

Quadro 14 – Indicadores utilizados na PCA

		Conclusão
Indicadores	Renda menor que um salário mínimo	RMSM
	Renda de um salário mínimo	R1SM
	Renda de um a dois salários mínimos	R2SM
	Renda maior que três salários mínimos	R3SM
Bairros	Alto do Açude	ADA
	Aluizio Diógenes	ALD
	Bela Vista	BEV
	Centro	CEN
	Chico Cajá	CHC
	Domingos Gameleira	DOG
	Frei Damião	FRD
	João XXIII	JXX
	Manoel Deodato	MDE
	Manoel Domingos	MDO
	Nações Unidas	NCU
	Nova Pau dos Ferros	NPF
	Paraíso	PAR
	Princesinha do Oeste	PCE
	Riacho do Meio	RDM
	São Benedito	SBE
	São Geraldo	SGE
	São Judas Tadeu	SJT
	São Vicente de Paula	SVP
	Zeca Pedro	ZCP

Fonte: A autora (2022).

Os dados foram previamente padronizados pelo método *z-score*, Equação 2:

Equação 2 – Padronização pelo método *z-score*

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Legenda: *z* = Escore padrão; *x* = Valor da variável não padronizada; μ = Média aritmética do indicador; σ = Desvio padrão do indicador.

Fonte: Triola (1999).

A PCA foi usada para investigar um padrão de correlação entre o ISA, seus indicadores (de 2ª e 3ª ordem), COVID-19, escolaridade e renda. Estas variáveis foram consideradas como ativas, nas quais os autovalores e autovetores foram calculados. Deste modo, três grupos de correlação (e suas respectivas variáveis) foram avaliados (Quadro 15).

Quadro 15 – Grupos de correlação analisados na PCA

Grupo	Indicadores	Variáveis
I	Indicador ISA e COVID-19	ISA, COV – C e COV – O
II	Indicadores de 2ª ordem e COVID-19	IAB, IES, IRS, ICV, ISE, COV – C e COV – O
III	ISA, COVID-19, Escolaridade e Renda	ISA, COV – C, COV – O, EAN, EAL, EFD, EMD, ESP, EPG, RMSM, R1SM, R2SM e R3SM

Fonte: A autora (2022).

A técnica de PCA é um recurso exploratório que proporciona a multianálise dos dados, com perda mínima de informação e permite que a similaridade e a diferença entre os dados sejam destacadas por meio dos padrões de correlação produzidos (WANG e CHEN, 2022).

As etapas da PCA consistem na normalização dos dados; na matriz do coeficiente de correlação; no cálculo de autovalores e autovetores; no cálculo da alíquota de contribuição e da alíquota de contribuição acumulada; no cálculo da carga do componente principal – PC; e no cálculo do valor de pontuação abrangente Z da PC (WU et al., 2021).

Deste modo, a PCA usa, ao mesmo tempo, todas as amostras de estudo para a interpretação teórica dos resultados. E com isso, o tratamento das variáveis origina questões e hipóteses, que podem ser corroboradas ou não (SILVA et al., 2020).

O critério para a escolha da quantidade de componente principal – PC usado nesta pesquisa foi determinado por todas as PCs que tiveram variância acumulada a partir de 70% (JOLLIFFE, 1986). Já para a seleção dos autovetores (cargas fatoriais) foram considerados aqueles que apresentaram cargas fatoriais maiores que 0.500 nas PCs (FINKLER et al., 2015).

A criação dos fatores está relacionada a contribuição das variáveis por meio das cargas fatoriais, ou seja, o quanto cada variável contribuiu para a elaboração de cada fator. Quanto mais próximo de um (1.000) ou menos um (-1.000) uma variável estiver, maior será sua contribuição, e quanto mais próximo de zero, menor (OLIVEIRA et al., 2020).

3.8 DIVULGAÇÃO DOS RESULTADOS

Inicialmente foi preconizada a comunicação dos resultados por meio da publicação de artigos em periódicos científicos. Deste modo, os resultados da pesquisa constituíram dois artigos, um publicado na Revista DAE – Qualis CAPES B1 (Apêndice B), e outro em processo de submissão em periódico internacional.

Em seguida, os achados desta pesquisa serão divulgados para a imprensa local de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte. O material será consolidado na forma de dossiê e entregue aos responsáveis e gestores pela definição de políticas de saneamento e saúde ambiental, para que o estudo possa resultar em efetiva melhora das condições de higiene ambiental no município.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da pesquisa são apresentados em quatro tópicos: o 6.1 que contém os achados da revisão sistemática da literatura sobre os indicadores conjuntos de saneamento e saúde, e salubridade ambiental; o 6.2 que traz a pontuação e classificação do ISA e seus indicadores de 2ª e 3ª ordem para os bairros estudados; o 6.3 que mostra o padrão de correlação entre o ISA, seus indicadores de 2ª e 3ª ordem, COVID-19, escolaridade e renda; e o 6.4 que apresenta o ISA para o município de Pau dos Ferros e seu comparativo com os ISAs aplicados no semiárido do Brasil.

4.1 INDICADORES CONJUNTOS DE SANEAMENTO E SAÚDE

Os 25 artigos incluídos na revisão sistemática da literatura foram selecionados a partir dos critérios de seleção estabelecidos no item 5.3. Os achados desses estudos se encontram resumidos nos Quadros 16, 17 e 18, e se referem ao uso dos indicadores ambientais na perspectiva conjunta do saneamento e saúde obtidos nos anos de 1999, 2002, 2005 a 2009, 2012 a 2019.

4.1.1 Indicador de Salubridade Ambiental – ISA

Nove artigos foram inseridos na categoria ISA, que avalia a salubridade ambiental do meio, através do uso original ou de uma adaptação do ISA em determinada localidade.

A totalidade dos trabalhos com o indicador ISA foi publicada, em português, no periódico Engenharia Sanitária e Ambiental entre os anos de 2006 e 2019. O tipo de pesquisa mais comum nos artigos foi o estudo de caso (56%). Também foram empregados o estudo qualiquantitativo (11%), o estudo experimental (11%), o estudo epidemiológico transversal (11%) e o estudo documental descritivo-exploratório (11%).

Os resultados, apresentados a seguir, informam a mensuração da salubridade ambiental a partir do uso do ISA, em localidades distintas no Brasil. Os achados ainda apresentam a influência dos indicadores de 2ª ordem (I_{AB} , I_{ES} , I_{RS} , Indicador de Drenagem Urbana – I_{DU}) no resultado do valor do ISA para as áreas avaliadas.

O esgotamento sanitário e os resíduos sólidos foram determinantes para a baixa salubridade. Os locais com maior deficit econômico e desigualdade social apresentaram os piores resultados em salubridade. Os menores valores de salubridade se

correlacionaram com os lugares de maior ocorrência de doenças ocasionadas pelo saneamento inadequado. A dificuldade de acesso aos dados de saúde e saneamento, particularmente na escala de bairro, foi uma limitação identificada (Quadro 16).

Quadro 16 – Uso dos indicadores ISA encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão

Continua

Nº.	Autor(es) (Ano)	Método	Subdivisão/ Área de estudo	Resultados
1	Rocha et al. (2019)	Adaptação do $I_{SA/CONESAN}$ para $I_{SA/CG}$	Setor censitário/ Campina Grande na Paraíba, Brasil	Os setores com os valores mais elevados do $I_{SA/CG}$ estão localizados na área nobre da cidade de Campina Grande, enquanto que, os bairros que demonstraram os menores valores, nas regiões periféricas. O esgotamento sanitário e o aspecto socioeconômico destacaram-se como as áreas mais deficientes do município e apresentaram os piores resultados entre os indicadores que integram o $I_{SA/CG}$.
2	Lima et al. (2019)	Adaptação do $I_{SA/CONESAN}$	Município/21 municípios diversos em Goiás, Brasil	Os indicadores de primeira ordem do $I_{SA/CONESAN}$ que mais interferiram na salubridade foram os de esgotamento sanitário e resíduos sólidos com 9,5% dos municípios salubres, 28,6% com média salubridade e 61,9% com baixa salubridade.
3	Bernardes et al. (2018)	Adaptação do $I_{SA/CONESAN}$ para o $I_{SA/DR}$	Domicílio/ Oito comunidades ribeirinhas da Amazônia, Brasil	O $I_{SA/DR}$ teve sensibilidade suficiente para mensurar a diferenciação da salubridade ambiental das moradias nas comunidades avaliadas, apesar destas apresentarem similaridade nas configurações socioeconômicas, culturais e ambientais.
4	Teixeira et al. (2018)	Levantamento bibliográfico do uso/adaptação do $I_{SA/CONESAN}$	Bacia hidrográfica, município, bairro, setor censitário, domicílio/ Locais diversos do Brasil	As regiões Nordeste e Sul do país detiveram a maior parcela de trabalhos realizados, sendo dissertação de mestrado (fonte de origem dos dados) e domicílio (subdivisão de estudo) as formas mais recorrentes. As pesquisas avaliadas pelos autores apontaram a utilização média de seis indicadores de primeira ordem para aplicação/adaptação do $I_{SA/CONESAN}$. Entre esses, o I_{AB} , o I_{ES} e o I_{RS} foram usados nos 60 estudos examinados.

Quadro 16 – Uso dos indicadores ISA encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão

Continuação

Nº.	Autor(es) (Ano)	Método	Subdivisão/ Área de estudo	Resultados
4	Teixeira et al. (2018)	Levantamento bibliográfico do uso/adaptação do $I_{SA/CONESAN}$	Bacia hidrográfica, município, bairro, setor censitário, domicílio/ Locais diversos do Brasil	As regiões Nordeste e Sul do país detiveram a maior parcela de trabalhos realizados, sendo dissertação de mestrado (fonte de origem dos dados) e domicílio (subdivisão de estudo) as formas mais recorrentes. As pesquisas avaliadas pelos autores apontaram a utilização média de seis indicadores de primeira ordem para aplicação/adaptação do $I_{SA/CONESAN}$. Entre esses, o I_{AB} , o I_{ES} e o I_{RS} foram usados nos 60 estudos examinados.
5	Silva et al. (2017)	Adaptação do $I_{SA/CONESAN}$ por Gama ($I_{SA/GAMA}$)	Setor censitário/ Bacia hidrográfica do riacho Reginaldo em Maceió, Alagoas, Brasil	O maior número de patologias conexas ao saneamento foram casos de dengue, hepatites e leptospirose, ocorrendo principalmente nos bairros Centro, Jacintinho e Mangabeiras. A correlação entre as doenças e os indicadores do $I_{SA/GAMA}$ foi confirmada, mas não foi aceitável, devido à diferença na geoespacialização entre os dados de saúde (por bairro) e a prestação dos serviços de saneamento básico (por setor censitário).
6	Pedrosa et al. (2016)	Adaptação do $I_{SA/CONESAN}$ para o $I_{SA/NH}$	Indivíduo/ Área de interesse social urbanizada em Novo Horizonte, Campina Grande, na Paraíba, Brasil	Não foi identificado nenhum caso de insalubridade para o I_{AB} e o I_{RS} e na consulta popular esses foram os indicadores que obtiveram maior taxa de satisfação. Na totalidade dos cenários examinados, os indicadores afins ao quesito socioeconômico mostraram os piores resultados, o que evidencia a necessidade de investimentos na área social. Os resultados também revelaram que 10% da população ainda vive em situação de insalubridade ambiental.

Quadro 16 – Uso dos indicadores ISA encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão

Conclusão

Nº.	Autor(es) (Ano)	Método	Subdivisão/ Área de estudo	Resultados
7	Calijuri et al. (2009)	Uso de escores a partir de I _{SSA}	Bairro, domicílio/ Área urbana em Tucuruí, no Pará, Brasil	Em três áreas estudadas constatou-se que mais de 97% das residências não são contempladas com rede de esgotamento sanitário. A fossa seca foi a medida paliativa mais recorrente nas três localidades; a disposição final dos resíduos sólidos foi o lixo da cidade; e a morbidade por diarreia foi a mais prevalente. Avaliou-se que a situação de salubridade ambiental nas três áreas não é apropriada ao favorecimento da saúde.
8	Silva et al. (2008)	Adaptação do I _{SA/CONESAN} para o I _{SA/JP}	Comunidade/Comunidades periurbanas na bacia do Rio Gramame, litoral sul do estado da Paraíba, Brasil	Três das cinco comunidades periurbanas avaliadas obtiveram condição de salubridade ambiental aceitável, ao mesmo tempo que as demais alcançaram posição de média salubridade ambiental, quando 36,68% do valor total de recursos financeiros foram aplicados em melhorias no saneamento.
9	Batista e Silva (2006)	Adaptação do I _{SA/CONESAN} para o I _{SA/JP}	Bairro/João Pessoa, na Paraíba, Brasil	Os melhores resultados do I _{SA/JP} evidenciaram, a seguinte classificação de salubridade, em ordem decrescente: Cabo Branco, Tambaú, Jardim Oceania, Manaíra, Penha, Ponta do Seixas e Bessa, qualificados como salubre. Enquanto que, Altiplano, Cabo Branco e Aeroclube, obtiveram condição de média salubridade.

Legenda: I_{SA/CONESAN} = Indicador de Salubridade Ambiental do Conselho Estadual de Saneamento; I_{SA/CG} = Indicador de Salubridade Ambiental de Campina Grande; ISA = Indicador de Salubridade Ambiental; I_{SA/DR} = Indicador de Salubridade Ambiental para Domicílio Rural; I_{AB} = Indicador de Abastecimento de Água; I_{ES} = Indicador de Esgotamento Sanitário; I_{RS} = Indicador de Resíduos Sólidos; I_{SA/NH} = Indicador de Salubridade Ambiental de Novo Horizonte; I_{SSA} = Indicadores de Saneamento e Saúde Ambiental; I_{SA/JP} = Indicador de Salubridade Ambiental de João Pessoa.

Fonte: Valones et al. (2020).

4.1.2 Indicador de Saneamento Ambiental – I_{SA}

Oito artigos foram inseridos na categoria I_{SA}, que emprega indicadores compostos de informações sobre o saneamento, para mensurar as condições do meio e o impacto na saúde humana. Os resultados, abaixo informados, mostram a aplicação dos indicadores I_{SA} e os fatores que determinaram a situação do saneamento ambiental no

lugar avaliado. Entre esses fatores foi citada a ausência de informações do setor, que representa uma barreira para análise confiável do saneamento local (Quadro 17).

Quadro 17 – Uso dos indicadores I_{SAN} encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão

Continua

Nº.	Autor(es) Ano	Método	Subdivisão/ Área de estudo	Resultados
10	Wolf et al. (2019)	Meta regressão com combinação do índice F_{AECI} com W_{ASH}	Domicílio, ambiente de intervenção/ Países de baixa e média renda do mundo	O índice F_{AECI} mostrou que a baixa eficácia das intervenções para a redução de diarreia resulta em índices elevados de contaminação fecal nas comunidades avaliadas; e que, a maior parcela das pessoas no mundo residem em locais com cobertura deficiente de saneamento e, consequentemente, expostas à contaminação fecal.
11	Alagidade e Alagidade (2016)	Análise dos padrões de séries temporais dos indicadores I_{APSB}	País/Diferentes países da África Occidental	Os indicadores I_{APSB} mostraram que houve melhorias no setor de água e saneamento de 2000 a 2014, no entanto, o progresso foi brando nos seis países da África Ocidental avaliados (Chade, Níger, Nigéria, Mauritânia, Serra Leoa e Togo). A meta de saneamento aceitável dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio não foi alcançada por nenhum dos países africanos estudados.
12	Pereira et al. (2015)	Desenvolvimento de aplicação do I_{QSBU}	Área urbana de município/ Cidades paranaenses com mais de 100.000 habitantes, Brasil	O indicador I_{QSBU} foi superior a 70,0 para 50% das cidades analisadas. Arapongas, Campo Largo, Cascavel, Curitiba, Foz do Iguaçu, Guarapuava, Londrina, Maringá, Pinhais, Ponta Grossa, São José dos Pinhais e Toledo obtiveram uma boa qualidade de saneamento básico, com valores acima de 60,0. Em 2006, Londrina apresentou o maior valor encontrado para o I_{QSBU} (78,3) e Colombo, o menor (49,8). Os autores verificaram que a disponibilidade deficiente de informações sobre o saneamento limita a real avaliação da situação do setor.

Quadro 17 – Uso dos indicadores I_{SA}N encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão

Continuação

Nº.	Autor(es) Ano	Método	Subdivisão/ Área de estudo	Resultados
13	Rego et al. (2013)	Análise de <i>cluster</i> dos E _{IIIH}	Bairro/ Salvador, na Bahia, Brasil	O tipo de pavimentação e habitação foram os componentes que apresentaram os piores resultados para as 923 seções de rua visitadas, já o setor de limpeza urbana obteve os melhores resultados. As informações obtidas mostraram a utilidade dos indicadores para direcionar o investimento público nas áreas com maior deficiência em saneamento.
14	Andreazzi et al. (2007)	Bases de dados Medline, Scielo e LILACS dos I _{SS}	Estudos publicados/ Países do mundo	A diarreia como determinante de saúde e a qualidade da água como determinante de saneamento foram as variáveis mais frequentes (59%) na composição dos indicadores dos 17 estudos avaliados de 1995 a 2004.
15	Concepcion Rojas et al. (2005)	Método de avaliação rápida usando <i>clusters</i> dos I _{SAD}	Indivíduo/ Municípios em Havana, Cuba	A deficiência no saneamento ambiental nas casas, quadras e locais de trabalho constitui fator de risco essencial no surgimento de focos de <i>Aedes aegypti</i> , sendo a intermitência no abastecimento de água e a existência de micro áreas de disposição irregular de lixo, os fatores mais expressivos. O saneamento ambiental das quadras verificadas foi regular. Nas moradias houve progresso das condições sanitárias, no entanto, continuidade de ações prioritárias e aumento da participação popular são necessários a permanência da prevenção e do controle da dengue.
16	Ferreira e Cunha (2005)	Avaliação do uso do I _{SAUU}	Município/ Rio de Janeiro, no Rio de Janeiro, Brasil	O indicador I _{SAUU} apontou boa qualidade da água no município do Rio de Janeiro, com valores de 58,99 e 59,57 em 2000 e 2001, respectivamente, em escala de zero a 19 (péssima), 20 a 36 (ruim), 37 a 51 (aceitável), 52 a 79 (boa) e 80 a 100 (ótima).

Quadro 17 – Uso dos indicadores I_{SAN} encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão

Conclusão

Nº.	Autor(es) Ano	Método	Subdivisão/ Área de estudo	Resultados
17	Rodríguez et al. (1999)	Uso de dados secundários a partir dos I_{SADD}	Município/ Plaza de la Revolución, em Havana, Cuba	As carências sanitárias observadas pelos indicadores I_{SADD} foram determinadas pela qualidade imprópria da água potável e pelo controle insuficiente do manejo de resíduos sólidos e líquidos.

Legenda: W_{ASH} = Water, Sanitation and Hygiene; F_{AECI} = Faecal Contamination Index (Índice de Contaminação Fecal); I_{APSB} = Indicadores de Água Potável e Saneamento Básico; I_{QSBU} = Indicador de Qualidade de Saneamento Básico Urbano; E_{IIH} = Environmental Indicators of Intra-urban Heterogeneity (Indicadores Ambientais de Heterogeneidade Intra-urbana); I_{SS} = Indicadores de Saneamento e Saúde; I_{SAD} = Indicadores de Saneamento Ambiental e Dengue; I_{SAUU} = Índice de Sustentabilidade da Água de Uso Urbano; I_{SADD} = Indicadores de Saneamento Ambiental e Doenças Digestivas.

Fonte: Valones et al. (2020).

Dos oito artigos com I_{SAN} , dois foram publicados de 1999 a 2019, na Revista Cubana de Higiene y Epidemiología; dois, na Revista Panamericana de Salud Pública e os demais no International Journal of Hygiene and Environmental Health, Public Health, Revista em Agronegócio e Meio Ambiente e Cadernos de Saúde Pública. O idioma de publicação usado nos artigos foi inglês (37,5%), português (37,5%) e espanhol (25%). O tipo de pesquisa mais comum foi o estudo documental descritivo-exploratório (62,5%), seguido do estudo de caso (25%) e do estudo ecológico (12,5%).

4.1.3 Indicador de Saúde Ambiental – I_{SAU}

Oito artigos foram inseridos na categoria I_{SAU} , que utiliza indicadores ambientais, com ênfase na temática da saúde ambiental (Quadro 18).

Quadro 18 – Uso dos indicadores I_{SAU} encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão

Continua

Nº.	Autor(es) Ano	Método	Subdivisão/ Área de estudo	Resultados
18	Jung et al. (2018)	Múltiplas exposições e efeitos múltiplos dos C _{EHI}	Indivíduo/ Pequenos estados insulares em desenvolvimento do Pacífico	Os indicadores C _{EHI} usados geraram múltiplas exposições e efeitos diversos da relação exposição-saúde infantil no contexto dos Objetivos do desenvolvimento Sustentável. A falta da água, a carência das instalações sanitárias e o tratamento impróprio do esgoto foram os riscos ambientais aos pequenos estados insulares em desenvolvimento. Os principais resultados de saúde mostraram que a progressão da saúde ambiental das crianças precisa de estudo complementar, pois parte dos dados não estavam disponíveis ou não existiam.
19	Stauber et al. (2018)	Desenvolvimento e aplicação do U _{HI}	Cidade, domicílio/ Lagos e Tegucigalpa, na Nigéria e Honduras	A subtração de determinantes ambientais no indicador U _{HI} como abastecimento de água canalizado para as residências, saneamento e uso domiciliar de biomassa como combustível, resultou em uma modificação acentuada no nível de saúde e na classificação das 57 maiores cidades do mundo avaliadas. Por outro lado, as variáveis, saúde da mulher ou vacinas na infância não alteraram o ranqueamento das urbes analisadas.
20	Jung et al. (2017)	Revisão sistemática de C _{EHI}	Indivíduo/Países de baixa e média renda da Ásia	A revisão sistemática evidenciou que as formas conceituais recorrentes para a elaboração dos indicadores C _{EHI} foram os métodos D _{PSEE} e M _{EME} e que os estudos consultados de pesquisas anteriores foram, em maioria, desenvolvidos em países de média ou alta renda.

Quadro 18 – Uso dos indicadores I_{SAU} encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão

Continuação

Nº.	Autor(es) Ano	Método	Subdivisão/ Área de estudo	Resultados
21	Monteiro et al. (2015)	Uso de dados secundários a partir dos B _{SSI}	Domicílio/ Ananindeua, no Pará, Brasil	A associação entre os indicadores de saneamento básico, as posições socioeconômicas e a situação do suprimento hídrico com episódios de malária não foram confirmadas. Os índices anuais de parasitas delineados para os anos de 2004 a 2013 classificam Ananindeua como um local sem riscos. Contudo, em 2013 foi observado um surto de 142 casos, que evidencia a necessidade de promover práticas de prevenção, vigilância e controle.
22	Buhler et al. (2014)	Modelo teórico Geo Saúde na aplicação dos I _{SAM}	Município/ Municípios diversos, Brasil	Os indicadores de saúde-ambiente para identificar morbidade e mortalidade por diarreia em menores de um ano mostraram que na região Norte, as hospitalizações e mortes por agravo diarreico agudo foram mais de cinco vezes superiores que as das regiões Sudeste e Sul. A relação causa-consequência da falta de coleta de lixo e o internamento por diarreia infantil foi confirmada.
23	Carneiro et al. (2012)	Construção de indicadores a partir do I _{DH}	Estados e países/Estados do Brasil e países do mundo	A combinação do I _{DH} com indicadores sociais, econômicos, ambientais e de saúde mostrou que a qualidade de vida e ambiental no Brasil dependia da melhora dos indicadores de saneamento; e que a situação de desigualdade brasileira correspondeu a de países como Laos, Iêmen, Madagascar e Haiti.
24	Cronin et al. (2008)	Abordagem dupla para aplicação dos I _{ASSN}	Domicílio/ Campos de refugiados em diferentes países do mundo	O panorama dos indicadores básicos de água e saneamento de 2003-2006 indicou que a reduzida disponibilidade de água por habitante foi fator determinante para a classificação do saneamento como ruim. Os aglomerados humanos que informaram um episódio de diarreia nas últimas 24 horas recebiam quantidade de água 26% menor do que aquelas sem nenhum caso.

Quadro 18 – Uso dos indicadores I_{SAU} encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão

Conclusão

Nº.	Autor(es) Ano	Método	Subdivisão/ Área de estudo	Resultados
25	Cifuentes (2002)	Uso de S _{IG} para geoespacialização de E _{HI}	Domicílio/ Cidade do México, México	O uso do E _{HI} apontou que o risco de diarreia em crianças que residiam em moradias alugadas foi maior em comparação com o daquelas que viviam em casas próprias. O perigo também foi mais elevado em habitações que possuíam latrina e outras infraestruturas de saneamento deficientes, do que aquelas ligadas à rede coletora de esgoto.

Legenda: C_{EHI} = Children's Environmental Health Indicators (Indicadores de Saúde Ambiental Infantil); U_{HI} = Urban Health Index (Índice de Saúde Urbana); D_{PSEE} = Driving-Pressure-State-Exposure-Effect-Action (Condução-Pressão-Estado-Exposição-Efeito-Ação); M_{EME} = Multiple-Exposures-Multiple-Effects (Múltiplas Exposições e Múltiplos Efeitos); B_{SSI} = Basic Sanitation and Socioeconomic Indicators (Indicadores Sanitários Básicos e Socioeconômicos); I_{SAM} = Indicadores de Saúde e Ambiente; I_{DH} = Indicador de Desenvolvimento Humano; S_{IG} = Sistema de Informações Geográficas; E_{HI} = Environmental Health Indicator (Indicador de Saúde Ambiental); I_{ASSN} = Indicadores de Água, Saneamento, Saúde e Nutrição; E_{HI} = Environmental Health Indicators (Indicadores de Saúde Ambiental).

Fonte: Valones et al. (2020).

Os artigos com I_{SAU} foram publicados, de 2002 a 2018, nos seguintes periódicos: International Journal of Environmental Research and Public Health (25%), Annals of Global Health (25%), Journal of Water and Health (25%), International Journal of Environmental Health Research (25%), Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical (25%), Ciência e Saúde Coletiva (25%) e Cadernos de Saúde Pública (25%).

O inglês foi o idioma de publicação mais frequente nos artigos (75%). O português foi utilizado em 25% das publicações. Não houve artigos publicados em espanhol. O tipo de pesquisa mais citada foi o estudo documental descritivo-exploratório (37,5%). O estudo de caso, o estudo quali-quantitativo, o estudo experimental, o estudo ecológico e o estudo observacional e descritivo somam, cada um, isoladamente, 12,5% de ocorrência nos artigos.

Os resultados mostraram que, entre os indicadores I_{SAU} avaliados, foi identificada a relação da ocorrência de doenças feco-orais, particularmente a diarreia, associada ao saneamento deficiente nas localidades estudadas.

O público-alvo de maior análise pelos I_{SAU} foi o infantil. A questão geográfica territorial também foi considerada para avaliar a prevalência de hospitalizações e mortes

por agravo diarreico agudo em crianças. Os aspectos de maior impacto negativo, nos resultados dos indicadores I_{SAU} , foram a falta ou má qualidade da água para uso humano, a carência de acesso às instalações sanitárias e a falta de coleta de resíduos sólidos.

4.1.4 Distribuição espacial dos indicadores ISA, I_{SAN} e I_{SAU}

Dos 25 artigos da revisão, a América do Sul concentrou o maior número de trabalhos (60%), com 14 estudos dos indicadores desenvolvidos no Brasil. O ISA foi o tipo de indicador dominante, usado em nove manuscritos, quatro deles no estado da Paraíba.

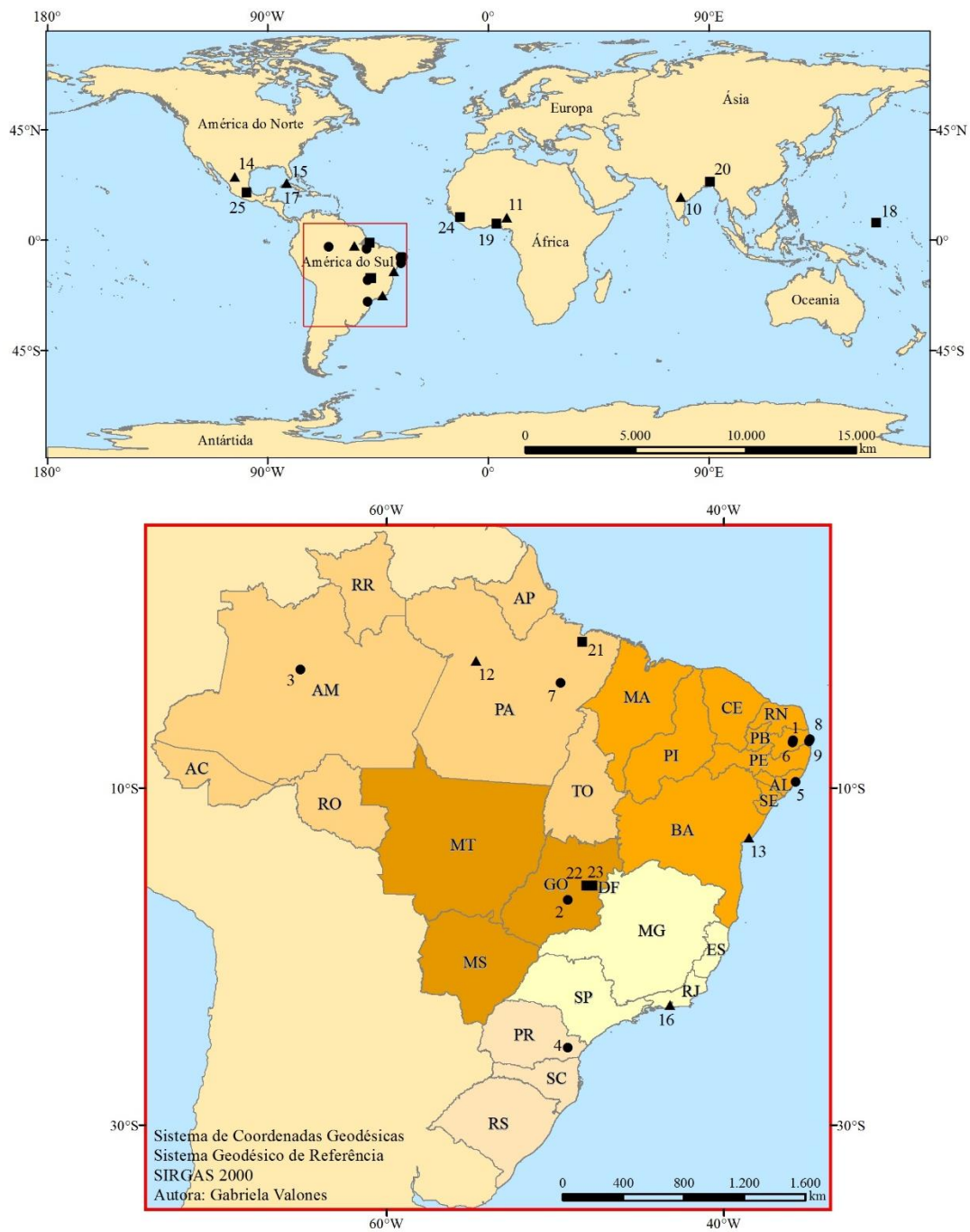
Na América do Norte e na África, o I_{SAN} foi a categoria de indicador mais aplicada, com dois estudos realizados, um em Cuba, na cidade de Havana e um em diversos países africanos ocidentais. Na Ásia, o I_{SAU} foi empregado em países de baixa e média renda. Europa e Oceania não tiveram artigos recuperados nesta revisão sistemática.

Todos os nove estudos ISA foram realizados no Brasil e a maior parte ocorreu em municípios da região Nordeste (56%), como Paraíba (44%) e Alagoas (11%). A região Norte, Centro-oeste e Sul concentraram 11% dos artigos, cada uma. A região Sudeste não teve artigos recuperados nesta revisão e um artigo foi aplicado em mais de uma região brasileira.

A maior parcela dos oito estudos pertencentes à categoria I_{SAN} (62%) foi desenvolvida nas Américas (37% no Brasil e 25% em Cuba). Os outros três artigos foram desenvolvidos em vários países no mundo (13%), em um conjunto de nações africanas (13%) e em países de baixa e média renda que estão localizados nas Américas, Ásia e África (13%).

A distribuição espacial dos indicadores utilizados nos 25 estudos selecionados para a revisão sistemática foi realizada. Os artigos estão representados por suas respectivas categorias (ISA, I_{SAN} ou I_{SAU}) e em cada categoria estão descritos os referidos indicadores. No caso dos estudos que foram realizados em mais de um lugar, simultaneamente, um local foi selecionado para obtenção da coordenada geográfica. A geoespacialização dos indicadores é apresentada na Figura 4.

Figura 4 – Distribuição espacial dos indicadores ISA, I_{SAN} e I_{SAU}



Fonte: Valones et al. (2020).

Os oito estudos em que se aplicou o I_{SAU} foram, maiormente, executados nas Américas (38% no Brasil e 12% no México), na África (12% na Nigéria e Honduras) e na Ásia (12% em países de baixa e média renda). Uma publicação envolveu campos de refugiados em diferentes países do mundo e, outra, pequenos estados em estágio de desenvolvimento econômico sustentável no Pacífico.

Os 25 artigos avaliados utilizaram vários indicadores como ferramentas para fundamentar os estudos sob diversos ângulos correlacionados com saneamento, ambiente e saúde, com o objetivo de: (i) desenvolver ações e realizar o planejamento ambiental (FERREIRA e CUNHA, 2005), (ii) analisar a qualidade do meio ambiente urbano (STAUBER et al., 2018), (iii) medir os principais riscos à saúde geral das comunidades urbanas (JUNG et al., 2017), (iv) monitorar a complexa interação entre o meio ambiente e a saúde das crianças (BÜHLER et al., 2014), (v) comparar as condições de saneamento em diferentes momentos no tempo (REGO et al., 2013), (vi) auxiliar a hierarquizar as áreas prioritárias e definir os valores investidos que impactariam positivamente a conjuntura da salubridade ambiental local (SILVA, NASCIMENTO e SILVA, 2008), (vii) avaliar as vias dominantes de transmissão de doenças decorrentes de condições sanitárias insuficientes e a eficácia da intervenção (WOLF et al., 2019) e, (viii) sanar as deficiências de infraestrutura e serviços, manter o ambiente preservado e reparar a degradação ambiental (PEREIRA et al., 2015).

Dentre esses objetivos, a finalidade central no uso dos indicadores ambientais, sob a perspectiva integrada do saneamento e saúde, foi fornecer informações sobre as condições de salubridade e qualidade ambiental de determinado local no período de tempo em que os estudos foram executados (LIMA, ARRUDA e SCALIZE, 2019; ROCHA, RUFINO e BARROS FILHO, 2019; WOLF et al., 2019; BERNARDES, BERNARDES e GÜNTHER, 2018; JUNG et al., 2018; STAUBER et al., 2018; TEIXEIRA, PRADO FILHO e SANTIAGO, 2018; JUNG et al., 2017; ALAGIDEDE e ALAGIDEDE, 2016; PEREIRA et al., 2015; BÜHLER et al., 2014; REGO et al., 2013; CARNEIRO et al., 2012; CALIJURI et al., 2009; CRONIN et al., 2008; SILVA, NASCIMENTO e SILVA, 2008; BATISTA e SILVA, 2006; FERREIRA e CUNHA, 2005; RODRÍGUEZ, ROJAS e FERNÁNDEZ, 1999).

E em seguida, subsidiar a tomada de decisão e a gestão pública dos recursos em saneamento e saúde (LIMA, ARRUDA e SCALIZE, 2019; ROCHA, RUFINO e BARROS FILHO, 2019; WOLF et al., 2019; BERNARDES, BERNARDES e GÜNTHER, 2018; JUNG et al., 2018; STAUBER et al., 2018; TEIXEIRA, PRADO

FILHO e SANTIAGO, 2018; JUNG et al., 2017; ALAGIDEDE e ALAGIDEDE, 2016; PEDROSA, MIRANDA e RIBEIRO, 2016; MONTEIRO et al., 2015; PEREIRA et al., 2015; BÜHLER et al., 2014; REGO et al., 2013; CALIJURI et al., 2009; SILVA, NASCIMENTO e SILVA, 2008; FERREIRA e CUNHA, 2005; BATISTA e SILVA, 2006; CIFUENTES et al., 2002).

A versatilidade no emprego dos indicadores ambientais analisados foi confirmada como uma das vantagens de sua aplicação, por permitir sua adaptação para avaliar realidades e subdivisões territoriais distintas, sem perder a capacidade de sensibilidade para perceber as particularidades do local investigado (LIMA, ARRUDA e SCALIZE, 2019; ROCHA, RUFINO e BARROS FILHO, 2019; STAUBER et al., 2018; JUNG et al., 2017; BATISTA e SILVA, 2006).

Entretanto, os subindicadores e variáveis incorporados ou suprimidos para viabilizar a adequação dos indicadores ambientais limitaram a comparabilidade entre diferentes indicadores, como também, entre um mesmo indicador aplicado em lugares distintos (BERNARDES, BERNARDES e GÜNTHER, 2018; TEIXEIRA, PRADO FILHO e SANTIAGO, 2018; PEREIRA et al., 2015). Também a considerar, foi que um indicador composto por variáveis de abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de resíduos sólidos e ocorrência de alagamentos, poderia não ter sensibilidade suficiente para perceber o real estado de saúde da população (ROCHA, RUFINO e BARROS FILHO, 2019; TEIXEIRA, PRADO FILHO e SANTIAGO, 2018; SILVA et al., 2017; PEREIRA et al., 2015).

A explicação para uma certa fragilidade no uso dos indicadores seria a origem das informações para o cálculo das variáveis de saúde e saneamento nos países emergentes, dada a ausência em quantidade e qualidade dos dados que deveriam ser disponibilizados pelas instituições responsáveis (LIMA, ARRUDA e SCALIZE, 2019; BERNARDES, BERNARDES e GÜNTHER, 2018; JUNG et al., 2018; STAUBER et al., 2018; TEIXEIRA, PRADO FILHO e SANTIAGO, 2018; MONTEIRO et al., 2015; PEREIRA et al., 2015).

Quanto menor a renda de um país, maior a probabilidade de seus órgãos gestores fornecerem dados incompletos, errôneos ou obsoletos (JUNG et al., 2018). A falta de ferramentas adequadas de monitoramento e vigilância, integradas aos sistemas de fluxo de informações, evidencia o entrave em coletar rotineiramente dados robustos (STAUBER et al., 2018).

Os dados e informações coletados para a revisão sistemática mostram que os indicadores que têm sido mais aplicados simulam fatores dinâmicos sujeitos a constantes mudanças, das condições de salubridade ambiental (TEIXEIRA, PRADO FILHO e SANTIAGO, 2018; CONCEPCIÓN ROJAS et al., 2005). Por isso, para a avaliação das condições do ambiente físico, do saneamento e da saúde ambiental, recomenda-se a aplicação daqueles indicadores de maneira continuada (PEREIRA et al., 2015; REGO et al., 2013; CRONIN et al, 2008).

4.2 INDICADOR DE SALUBRIDADE AMBIENTAL

Os indicadores de 2ª e 3ª ordem do ISA devem ser processados e avaliados isoladamente, uma vez que o ISA equivale a uma combinação linear de indicadores específicos (BATISTA e SILVA, 2006). Ao analisar os indicadores de 2ª e 3ª ordem, é possível perceber as deficiências pontuais que refletem no valor final do ISA.

Deste modo, para uma melhor compreensão dos resultados, serão expostos a seguir, os valores de cada indicador de 2ª ordem (I_{AB} ; I_{ES} ; I_{RS} ; I_{CV} ; I_{RH} ; I_{SE}) com a pontuação dos indicadores de 3ª ordem dos mesmos (I_{CA} , I_{QA} e I_{SA} ; I_{CE} , I_{TE} e I_{SE} ; I_{CR} , I_{QR} e I_{SR} ; I_{VD} , I_{VE} e I_{VL} ; I_{QB} , I_{DM} e I_{FI} ; I_{SP} , I_{RF} , I_{ED}) e então, será apresentado e discutido o resultado do indicador de 1ª ordem ISA dos bairros.

4.2.1 Abastecimento de água e recursos hídricos

O indicador de 2ª ordem I_{AB} é constituído pela média aritmética entre os indicadores de 3ª ordem I_{CA} , I_{QA} e I_{SA} . Adiante, são apresentados os resultados referentes à pontuação de cada um deles, bem como a respectiva classificação de salubridade ambiental. E por fim, os valores e categorização do I_{AB} também são mostrados.

4.2.1.1 Indicador de Cobertura de Abastecimento de Água – I_{CA}

A cobertura de abastecimento de água em todas as residências de um bairro ($I_{CA} = 1,00$) foi observada em 20% deles: Alto do Açude, Chico Cajá, Nova Pau dos Ferros e São Vicente de Paula. A pontuação média do I_{CA} nos bairros foi de $0,97 \pm 0,11$, variando de 0,63 a 1,00. Em uma pesquisa que analisou a salubridade ambiental em 21 municípios

do estado de Goiás, todos os municípios também apresentaram $I_{CA} > 0,50$ (LIMA et al., 2019).

O acesso à rede de distribuição de água tratada diferiu pouco entre os bairros avaliados, pois o sistema de abastecimento é o mesmo, executado pela companhia de saneamento local (CAERN, 2019). Em Caruaru, semiárido pernambucano, os dois bairros estudados também apresentaram índices de cobertura de abastecimento de água semelhantes (DUARTE, BEZERRA e GONÇALVES, 2021).

Em Pau dos Ferros, as pequenas variações no I_{CA} ocorreram em dois bairros, por possuírem um grau de urbanização ainda baixo, o que evidencia a necessidade de melhoria na cobertura de água, nesses locais. Situação similar aconteceu nos bairros de Portal do Sol, Costa do Sol, Seixas e Gramame, quando o I_{CA} foi calculado para os bairros de João Pessoa, na Paraíba (RIBEIRO et al., 2004).

Dos 2792 (100%) domicílios consultados na área urbana de Pau dos Ferros, 310 (11%) não eram atendidos com o serviço de abastecimento de água. A maior parte, dessas residências, estava concentrada nos bairros Manoel Deodato e Nações Unidas, que apresentaram os menores valores de I_{CA} , respectivamente, 0,66 e 0,63.

O Manoel Deodato é um bairro periférico da cidade e um dos mais carentes no aspecto socioeconômico e em infraestrutura sanitária (SILVA et al., 2015), que inclui o acesso à rede de água para consumo humano (MAGALHÃES, 2020). Essa relação da limitação de acesso ao saneamento e aos serviços de saúde com a desigualdade econômica já foi estabelecida nos países em desenvolvimento (BALASUBRAMANYA et al., 2021).

Em contraste, o Nações Unidas, é um dos bairros com população de maior poder aquisitivo (BEZERRA e LIMA, 2011). Contudo, a baixa taxa de atendimento de água é justificada por se tratar de um bairro com ocupação recente e em franca expansão imobiliária (BARBOSA, 2017), onde os serviços de saneamento e calçamento dos logradouros, ainda estão em processo de implementação (PAU DOS FERROS, 2018).

Apesar da prestadora do abastecimento informar que todos os domicílios urbanos têm cobertura de rede de água (CAERN, 2019), a pesquisa identificou que em 80% dos bairros de Pau dos Ferros nem todas as residências são atendidas pelo serviço.

Circunstância semelhante foi vista na aplicação do ISA na Bacia Hidrográfica do Reginaldo em Maceió, estado de Alagoas. Em que, segundo a companhia de saneamento 100% das moradias possuem atendimento de água por rede geral, enquanto que o mapeamento feito pela pesquisa verificou setores censitários com menos de 70% de

cobertura. Essas inconsistências entre as fontes de informação, podem comprometer a gestão e a tomada de decisão do poder público nesses locais (GAMA et al., 2022).

A classificação do indicador I_{CA} mostrou que 90% (18) dos bairros foram considerados salubres e 10% (2) revelaram média salubridade (Manoel Deodato e Nações Unidas) como é demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Dados de cálculo do I_{CA} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Bairro	D_{UA}	D_{UT}	I_{CA}	Classificação
Alto do Açude	134	134	1,00	Salubre
Aluízio Diógenes	39	40	0,97	Salubre
Bela Vista	48	49	0,98	Salubre
Centro	507	619	0,82	Salubre
Chico Cajá	71	73	1,00	Salubre
Domingos Gameleira	90	94	0,96	Salubre
Frei Damião	40	44	0,90	Salubre
João XXIII	155	161	0,96	Salubre
Manoel Deodato	48	72	0,66	Média salubridade
Manoel Domingos	64	67	0,95	Salubre
Nações Unidas	62	99	0,63	Média salubridade
Nova Pau dos Ferros	12	12	1,00	Salubre
Paraíso	100	103	0,97	Salubre
Princesinha do Oeste	171	199	0,86	Salubre
Riacho do Meio	246	253	0,97	Salubre
São Benedito	328	390	0,84	Salubre
São Geraldo	122	132	0,92	Salubre
São Judas Tadeu	177	181	0,98	Salubre
São Vicente de Paula	29	30	1,00	Salubre
Zeca Pedro	39	40	0,97	Salubre

Legenda: D_{UA} = domicílios urbanos atendidos (públicos e particulares); D_{UT} = domicílios urbanos totais; I_{CA} = Indicador de Cobertura de Abastecimento de Água.

Fonte: A autora (2022).

Os resultados sobre a salubridade do I_{CA} nos bairros de Pau dos Ferros, refletem a boa cobertura de acesso à rede de distribuição de água na cidade, que também foi verificada em outras localidades do semiárido brasileiro como Campina Grande, na Paraíba (ROCHA et al., 2019) e Mossoró, no Rio Grande do Norte (PEIXOTO et al., 2018), com taxas de domicílios ligados à rede de abastecimento, maiores que 90%.

4.2.1.2 Indicador de Qualidade de Água – I_{QA}

O valor do I_{QA} foi igual para todos os bairros, uma vez que o serviço de abastecimento de água do município, com controle sanitário, é o mesmo, operado pela concessionária local (CAERN, 2019). Este padrão de I_{QA}, com valor constante, também foi percebido em outras pesquisas de uso do ISA no Brasil, que mensuraram a qualidade de água em bairros e tinham como prestadora de água, a mesma companhia (MARI et al., 2019; PINTO et al., 2016; CABRAL et al., 2013; RIBEIRO et al., 2004).

A pontuação do I_{QA} (0,16) dos bairros de Pau dos Ferros foi enquadrada no intervalo de I_{QA} < 20, que classifica a água de abastecimento como imprópria para o consumo humano (CONESAN, 1999). Situação também percebida em Belém, capital do estado do Pará, que por 16 anos (de 2000 a 2017, exceto no ano de 2016) teve a qualidade da água de abastecimento, caracterizada como fora dos padrões de potabilidade (BRITO et al., 2021). E em Caruaru, onde dois bairros tiveram I_{QA} igual zero, devido à não-conformidade dos parâmetros de turbidez, cor e cloro da água tratada, com os referenciais estabelecidos pelo Ministério da Saúde do Brasil (DUARTE, BEZERRA e GONÇALVES, 2021).

Em Pau dos Ferros, o fator que mais impactou no cálculo e no baixo resultado do I_{QA} foi o número de amostras mínimas obrigatórias não ter sido atendido (CAERN, 2019), como pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 – Parâmetros de monitoramento da qualidade de água e respectivas quantidades de amostras mínimas obrigatórias, analisadas e em conformidade de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Continua

Relatório Anual 2019 Qualidade de Água - Pau dos Ferros/RN												
P	Cloro Residual			Turbidez			Cor Aparente			Coliformes Totais		
	Livre (mg/L)			(uT)			(uH)					
Mês	M O	AN	EC	MO	AN	EC	MO	AN	EC	MO	AN	EC
JAN	42	3	3	42	3	1	10	3	1	42	3	3
FEV	42	4	3	42	4	0	10	4	1	42	4	2
MAR	42	4	4	42	4	3	10	4	4	42	4	4
ABR	42	4	0	42	4	2	10	4	1	42	4	3
MAI	42	10	8	42	10	1	10	10	1	42	10	9

Tabela 6 – Parâmetros de monitoramento da qualidade de água e respectivas quantidades de amostras mínimas obrigatórias, analisadas e em conformidade de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Relatório Anual 2019 Qualidade de Água - Pau dos Ferros/RN												Conclusão
P	Cloro Residual			Turbidez			Cor Aparente			Coliformes Totais		
	Livre (mg/L)			(uT)			(uH)					
JUN	42	3	3	42	3	0	10	3	0	42	3	3
JUL	42	5	5	42	5	5	10	5	0	42	5	5
AGO	42	21	21	42	21	16	10	21	1	42	21	21
SET	42	10	9	42	10	8	10	10	0	42	10	10
OUT	42	18	18	42	18	10	10	18	0	42	18	17
NOV	42	3	3	42	3	3	10	3	1	42	3	3
DEZ	42	25	25	42	25	2	10	25	1	42	25	24
Total	504	110	102	504	110	51	120	110	11	504	110	104

Legenda: P = Parâmetro; MO = Mínimas obrigatórias; AN = Analisadas; EC = Em conformidade.

Fonte: Caern (2019).

No ano de 2019, percebe-se que não houve o adequado monitoramento do número mínimo de amostras, exigido pela legislação, para vigilância e controle da qualidade da água fornecida nos bairros de Pau dos Ferros (CAERN, 2019).

A incerteza quanto à potabilidade hídrica também foi observada em Caruaru. O estudo mostrou que a água que abastece a cidade tinha alto risco de contaminação por microrganismos patogênicos, como quantidade elevada de bactérias heterotróficas (MENDONÇA et al., 2017).

A análise dos parâmetros cloro residual, cor aparente, turbidez e coliformes totais, bem como o acompanhamento de suas concentrações são fundamentais para garantir a oferta de água segura e potável à população, considerada prioritária para as ações de monitoramento em saúde ambiental no Brasil (KLAMT, LOBO e COSTA, 2021).

A medição da quantidade de cloro residual é um fator necessário e protetivo, de controle sanitário, para assegurar uma água livre de patógenos, pois aspectos diversos, entre eles, a temperatura, podem influenciar no decaimento dos níveis de cloro entre a distribuição na rede e o consumo (ALI, ALI e FESSELET, 2021).

O acompanhamento da análise de turbidez está intrinsecamente associado ao êxito do tratamento de águas superficiais, pois pode alterar a eficiência da desinfecção com uso

de cloro. Ademais, a ingestão de água tratada sem a adequada remoção de turbidez, aumenta em 50 vezes, a ocorrência de episódios de gastroenterite (MUOIO et al. 2020).

A detecção de bactérias coliformes, por meio do monitoramento da água, sinaliza a poluição por matéria fecal na fonte hídrica, que sugere risco mais elevado à saúde, como também que a água é imprópria para consumo, pois pode ocasionar enfermidades potencialmente graves como cólera, febre tifóide, disenteria (KIRAN, ASHUTOSH e CHITRA, 2020).

Há muitos registros de surtos e doenças endêmicas ocasionadas pela contaminação da água potável, mesmo das fontes de água melhoradas, como água encanada (AMROSE et al., 2020; OMS, 2019). Por isso, a vigilância da qualidade da água fornecida à população é fundamental, o monitoramento parcial denota uma emergência que requer intervenções do setor público, pois é um fator que atinge diretamente a saúde da população usuária (ABUBAKAR, 2021; MUOIO et al. 2020).

4.2.1.3 Indicador de Saturação do Sistema Produtor-Qualidade – I_{SA}

O sistema produtor de água de Pau dos Ferros é o sistema local, que abastece o município por meio de captação, na barragem que tem o mesmo nome da cidade (AESBE, 2019). Desde 2010, a região passou por estiagem prolongada e seca severa, que somadas ao crescente desajuste entre oferta e demanda de água, culminou no colapso do reservatório local (LEITE e MOURA, 2019).

No ano de 2015, a barragem de Pau dos Ferros, que tem capacidade máxima de 54.846.000,00 m³, atingiu seu volume morto (reserva técnica hídrica) com um acumulado de água de 1.028.399 m³ e 1,87% da capacidade de reserva total (SEARH, 2015), como é visto na Figura 5.

Figura 5 – Barragem de Pau dos Ferros atinge volume morto, no Rio Grande do Norte, Brasil



Fonte: Dultra (2015) e SNIRH (2015).

Devido à crise de água extrema, o abastecimento em Pau dos Ferros, a partir de setembro de 2019, era realizado de forma emergencial pela adutora de engate rápido da barragem de Santa Cruz, localizada em Apodi, Rio Grande do Norte e distante 70 km de Pau dos Ferros (IGARN, 2019; PAU DOS FERROS, 2019). Como o abastecimento era feito em condição de urgência hídrica, com vazão baixa, a oferta de água era muito reduzida (MOSSORÓ, 2020). Em janeiro de 2020, o reservatório alcançou volume nulo de sua capacidade total de reservação (Tabela 7).

Tabela 7 – Situação da barragem de Pau dos Ferros de janeiro de 2019 a janeiro de 2020

Mês	Volume (m³)	Volume (%)
Janeiro	1.551.547,61	2,83
Fevereiro	1.319.831,96	2,41
Março	1.116.853,88	2,04
Abril	997.142,95	1,82
Maio	812.851,14	1,48
Junho	566.558,80	1,03
Julho	343.623,55	0,63
Agosto	183.160,33	0,45
Setembro	82.976,80	0,15
Outubro	59.110,62	0,11
Novembro	40.564,23	0,07
Dezembro	6.174,00	0,01
Janeiro	Não informado	0,00

Fonte: Igarn (2019).

Os impactos da gravíssima situação de disponibilidade hídrica também foram vistos no meio biótico local. Observou-se uma grande mortalidade de peixes (G1, 2020), que indica a depleção dos teores de oxigênio dissolvido na água, provocada, particularmente, pelas elevadas temperaturas e pelo tempo nublado, que dificultou a produção natural de oxigênio pelos organismos fotossintetizantes (SABER, JAMES e HAYES, 2020; KIRF et al. 2015).

A coloração escura e a forte turbidez percebidas na água da barragem, podem ter se dado em função das chuvas ocorridas na região, que foram insuficientes para elevar a cota da barragem (ZHOU et al., 2021). Com a pouca tomada de água, há o revolvimento dos sedimentos e dispersão dos sólidos, que gera a mudança da cor e o aumento do teor de turbidez da água (Figura 6).

Figura 6 - Registro de peixes mortos na barragem de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte,



Fonte: G1 (2020).

As medidas emergenciais adotadas em Pau dos Ferros, com a finalidade de garantir o mínimo de abastecimento de água à população, foram a construção de uma adutora de engate rápido e a perfuração de poços públicos (SOUTO et al, 2017). E para racionar a pouca água disponível, a companhia estabeleceu um sistema de rodízio, que divide em três setores (Quadro 19), o fornecimento de água nos bairros (FERNANDES, 2017).

Quadro 19 – Divisão setorial para o abastecimento de água em Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Setor	Bairros	Período de abastecimento
1	Riacho do Meio, São Judas Tadeu, Frei Damião, Paraíso, Alto do Açude.	A intermitência pode variar de três a 30 dias, segundo população consultada e informações da Caern.
2	Centro, São Geraldo, João XXIII, Manoel Domingos, Bela Vista, São Benedito, Nova Pau dos Ferros e Domingos Gameleira.	
3	Princesinha do Oeste, Chico Cajá, Nações Unidas, João Catingueira, Arizona, Zeca Pedro, Manoel Deodato e Aluizio Diógenes.	

Fonte: Adaptado de Abrantes (2018).

O racionamento influencia na quantidade de dias em que há o recebimento de água e na duração de tempo do abastecimento, que diverge, desproporcionalmente, entre os bairros de Pau dos Ferros (SILVA, 2017). A ausência de água na torneira, pode chegar a 30 dias, conforme consulta popular (ABRANTES, 2018), embora segundo a concessionária, o fornecimento é feito a cada sete dias (AESBE, 2019), mesmo intervalo de abastecimento experimentado por áreas rurais na Índia (RAY, 2020) e em Caruaru, no semiárido pernambucano (DUARTE, BEZERRA e GONÇALVES 2021).

De acordo com a empresa de saneamento local, todos os domicílios da área urbana são ligados à rede (CAERN, 2019). No entanto, os dados da pesquisa domiciliar, revelaram o uso de soluções alternativas de abastecimento, como caminhão-tanque e poço, para complementar o provimento de água nas moradias. Tal informação, mostra que estar conectado à rede pública não significa, necessariamente, o acesso à água (LEITE, 2017) e nem reflete a frequência com que a população, efetivamente, tem água na torneira (FERREIRA, SILVA e FIGUEIREDO FILHO, 2021).

O uso de formas alternativas de acesso hídrico como a captação de água subterrânea por intermédio de poços também foi observada na cidade de Ananindeua no estado do Pará (BRITO et al., 2021); em Peabiru, no Paraná (BILMAYER, MEZZOMO E GONÇALVES, 2020), que denotaram a fragilidade quanto à segurança hídrica às populações abastecidas (GAMA et al., 2022).

A irregularidade no abastecimento provoca a estocagem de água e faz a população recorrer a soluções isoladas de abastecimento, que por vezes, não são próprias para o consumo humano (RAY, 2020; SILVA, 2017). A adoção de fontes alternativas pode configurar a insegurança hídrica aos usuários, pois não há o monitoramento regular

quanto à potabilidade da água de tais fontes, em grande parte dos casos (GAMA et al., 2022; ABRANTES, 2018).

A análise da cobertura do abastecimento de água nos bairros de Pau dos Ferros, indica que o emprego de fontes alternativas, para abastecer e/ou suplementar o fornecimento de água nos domicílios, é realizado para suprir a necessidade de água, nas residências que não são atendidas pelo serviço da companhia, como também para minimizar o impacto do abastecimento intermitente e não homogêneo nos bairros (LIMA et al, 2020; IGARN, 2015).

Por esta razão, no cálculo do I_{AB} , o valor do I_{SA} foi considerado nulo para todos os bairros e categorizado como insalubre, já que em 2019, o sistema produtor estava colapsado (LIMA et al., 2020). A pontuação do I_{RH} também foi zero e classificado como insalubre, em função das mesmas razões.

4.2.1.4 Indicador de Abastecimento de Água – I_{AB}

Este indicador é obtido por meio da média aritmética entre I_{CA} , I_{QA} e I_{SA} . No cálculo do I_{AB} , o I_{QA} (0,16) e o I_{SA} (0,00) apresentaram o mesmo valor, razão para a similaridade do I_{AB} entre os bairros. O único indicador de 3ª ordem que apresentou pontuação distinta foi o I_{CA} . O motivo desta diferença consiste na variação da cobertura do abastecimento de água em cada bairro. E portanto, os bairros que apresentaram maiores valor de I_{CA} eram aqueles que tiveram pontuações mais elevadas do I_{AB} (Tabela 8).

Tabela 8 – Indicador de abastecimento de água e respectiva classificação de salubridade ambiental dos 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Continua					
Alto do Açude	1,00	0,16	0,00	0,39	Baixa salubridade
Aluízio Diógenes	0,97	0,16	0,00	0,38	Baixa salubridade
Bela Vista	0,98	0,16	0,00	0,38	Baixa salubridade
Centro	0,82	0,16	0,00	0,33	Baixa salubridade
Chico Cajá	1,00	0,16	0,00	0,39	Baixa salubridade
Domingos Gameleira	0,96	0,16	0,00	0,37	Baixa salubridade
Frei Damião	0,90	0,16	0,00	0,35	Baixa salubridade
João XXIII	0,96	0,16	0,00	0,37	Baixa salubridade

Tabela 8 – Indicador de abastecimento de água e respectiva classificação de salubridade ambiental dos 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

					Conclusão
Bairro	I _{CA}	I _{QA}	I _{SA}	I _{AB}	Classificação
Manoel Deodato	0,66	0,16	0,00	0,27	Baixa salubridade
Manoel Domingos	0,95	0,16	0,00	0,37	Baixa salubridade
Nações Unidas	0,63	0,16	0,00	0,26	Baixa salubridade
Nova Pau dos Ferros	1,00	0,16	0,00	0,39	Baixa salubridade
Paraíso	0,97	0,16	0,00	0,38	Baixa salubridade
Princesinha do Oeste	0,86	0,16	0,00	0,34	Baixa salubridade
Riacho do Meio	0,97	0,16	0,00	0,38	Baixa salubridade
São Benedito	0,84	0,16	0,00	0,33	Baixa salubridade
São Geraldo	0,92	0,16	0,00	0,36	Baixa salubridade
São Judas Tadeu	0,98	0,16	0,00	0,38	Baixa salubridade
São Vicente de Paula	1,00	0,16	0,00	0,39	Baixa salubridade
Zeca Pedro	0,97	0,16	0,00	0,38	Baixa salubridade

Legenda: I_{CA} = Indicador de Cobertura de Água; I_{QA} = Indicador de Qualidade de Água; I_{SA} = Indicador de Saturação do Sistema Produtor; I_{AB} = Indicador de Abastecimento de Água.

Fonte: A autora (2022).

Nos bairros Chico Cajá e São Vicente de Paula, todas as residências têm acesso à rede de abastecimento da companhia de saneamento e usam apenas essa fonte de água para o consumo humano. Nos bairros Alto do Açude e Nova Pau dos Ferros, todos os domicílios também são ligados à rede, mas uma parcela das moradias possui uma fonte de abastecimento complementar.

Nos outros 16 bairros, uma parte das residências não são atendidas pela concessionária e usa fontes alternativas para o abastecimento de água, como poço artesanal e caminhão-tanque (Centro, Domingos Gameleira, João XXIII, Manoel Deodato, Paraíso, Princesinha, Riacho do Meio, São Geraldo e São Benedito), apenas poço artesanal (Aluizio Diógenes e São Judas Tadeu), e somente caminhão-tanque (Frei Damião, Manoel Domingos, Nações Unidas e Zeca Pedro).

A utilização de caminhão-tanque, em decorrência do abastecimento de água intermitente, também foi verificada na aplicação do ISA em bairros de Caruaru, no semiárido pernambucano (DUARTE, BEZERRA e GONÇALVES, 2021)

Apesar da ampla cobertura de água em 90% dos bairros, o abastecimento de água foi considerado de baixa salubridade, em função do colapso do sistema produtor local e da potabilidade da água não atender em totalidade a determinação da legislação em vigor.

Deste modo, verifica-se que o comprometimento do acesso à água em quantidade (I_{SA}) e qualidade (I_{QA}) apropriadas, para prover saúde ambiental à população, impactou diretamente no valor do I_{AB} . A segurança e a disponibilidade da água são as características mais significativas do abastecimento de água potável (ABUBAKAR, 2021).

Os valores do I_{AB} apresentaram média de $0,38 \pm 0,04$ e máximo de 0,39 nos bairros Alto do Açude, Chico Cajá, Nova Pau dos Ferros e São Vicente de Paula. Enquanto que, as menores pontuações do indicador, foram observadas nos bairros Manoel Deodato (0,27) e Nações Unidas (0,26).

4.2.2 Esgotamento sanitário

O indicador de 2ª ordem I_{ES} é constituído pela média aritmética dos indicadores I_{CE} , I_{TE} e I_{SE} . A seguir, são apresentados os resultados referente à pontuação de cada um deles, bem como a respectiva classificação de salubridade ambiental. E por fim, os valores e categorização do I_{ES} também são mostrados.

4.2.2.1 Indicador de Cobertura em Coleta de Esgoto – I_{CE}

A pontuação média do I_{CE} nos bairros foi de $0,58 \pm 0,30$, variando de 0,00 a 0,89. A maior taxa de cobertura (0,89) foi verificada no Manoel Domingos e no Princesinha (Tabela 9). O cenário mais crítico foi visto no bairro Nova Pau dos Ferros ($I_{CE} = 0,00$), que não tinha nenhuma das residências ligada à rede de coleta de esgotos.

Tabela 9 – Dados de cálculo do I_{CE} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Continua

Bairro	D_{UE}	D_{UT}	I_{CE}	Classificação
Alto do Açude	92	134	0,69	Média salubridade
Aluizio Diógenes	10	40	0,26	Baixa salubridade
Bela Vista	16	49	0,33	Baixa salubridade
Centro	495	619	0,80	Salubre
Chico Cajá	15	73	0,20	Insalubre
Domingos Gameleira	28	94	0,30	Baixa salubridade
Frei Damião	28	44	0,64	Média salubridade
João XXIII	121	161	0,75	Salubre

Tabela 9 – Dados de cálculo do I_{CE} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

				Conclusão
Bairro	D_{UE}	D_{UT}	I_{CE}	Classificação
Manoel Deodato	54	72	0,75	Salubre
Manoel Domingos	60	67	0,89	Salubre
Nações Unidas	74	99	0,75	Salubre
Nova Pau dos Ferros	0	12	0,00	Insalubre
Paraíso	48	103	0,47	Baixa salubridade
Princesinha do Oeste	177	199	0,89	Salubre
Riacho do Meio	33	253	0,13	Insalubre
São Benedito	324	390	0,83	Salubre
São Geraldo	69	132	0,52	Média salubridade
São Judas Tadeu	123	181	0,68	Média salubridade
São Vicente de Paula	5	30	0,17	Insalubre
Zeca Pedro	3	40	0,08	Insalubre

Legenda: I_{CE} = Indicador de Cobertura em Coleta de Esgoto; I_{TE} = Indicador de Tratamento de Esgoto; I_{SE} = Indicador de Saturação do Sistema Produtor; I_{ES} = Indicador de Esgotamento Sanitário.

Fonte: A autora (2022).

Da mesma forma que o Manoel Domingos, o Princesinha é um dos bairros de Pau dos Ferros, que concentra habitantes com elevado poder aquisitivo (SMAS, 2019). Seu processo de ocupação se deu com o planejamento dos logradouros, da construção de residências em alvenaria e da presença de serviços de saneamento básico (PESSOA e GOMES, 2016). Historicamente, áreas ocupadas por população com maior renda sempre foram priorizadas nas ações do Estado, entre elas, investimentos em saneamento (OLIVEIRA, 2018).

Por se tratar de um bairro mais antigo da cidade, o Princesinha foi o pioneiro em apresentar infraestrutura de esgotamento sanitário, que se reflete no maior número de domicílios ligados à rede de coleta de efluentes, em relação aos demais bairros da área urbana (MAIA, 2016). Também se percebe a expansão da rede coletora de esgotos no bairro, que em 2011 contemplava 56,37% das residências (BEZERRA e LIMA, 2011); e em 2016 e 2020 apresentou taxas acima de 90% de atendimento (CHAVES, 2020; MAIA, 2016), que corroboram a taxa de cobertura de 89% vista neste estudo.

O bairro de Nova Pau dos Ferros está situado no perímetro norte da cidade, região em franca expansão imobiliária e que teve seu processo de ocupação mais recentemente,

quando comparado aos outros bairros. Por estas razões, a localidade ainda carece de pavimentação nas ruas e de infraestrutura mínima de saneamento básico, especialmente, de esgotamento sanitário. A disposição irregular de águas residuárias à céu aberto é comum no local, devido à ausência da rede coletora de esgotos (Figura 7).

Figura 7 – Disposição de esgoto doméstico à céu aberto em rua no bairro de Nova Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil



Fonte: ESAS (2019)

Em 2016, 72% das moradias em Pau dos Ferros não tinham acesso ao serviço de coleta de esgotos. O uso de fossa séptica era predominante nessas residências, equivalente a 97% das situações; nos outros 3% das casas, o efluente doméstico era despejado diretamente no solo, sem nenhum tipo de tratamento prévio (MAIA, 2016).

As formas de disposição final do esgoto domiciliar nos bairros de Pau dos Ferros, eram a rede geral de coleta, a fossa séptica ou o despejo à céu aberto. Modos semelhantes de destinação das águas residuárias foram observados na aplicação do ISA em morros da cidade do Recife-PE, localidades que devido à ocupação irregular e à condição geográfica, também apresentam baixas taxas de serviço de esgoto (RODRIGUES JUNIOR, 2022).

Assim, nota-se que a variação nos valores do I_{CE} podem ser esclarecidas pela ausência de rede coletora e pelo uso majoritário de fossas, adotado nas residências, para o tratamento e disposição final dos efluentes domésticos. Contudo esta é uma medida que se constitui em iminente risco de poluição das águas subterrâneas e superficiais (SCHAIDER, RODGERS e RUDEL, 2017), ainda que o uso de fossas sépticas seja uma solução individual adotada onde não há sistemas públicos de coleta, tratamento e disposição final de esgotos sanitários (RIO GRANDE DO NORTE, 2014).

A adoção de sistemas individuais de tratamento como as fossas domésticas, amplamente utilizadas no Brasil, são danosas ao meio ambiente, principalmente por vazamentos e infiltrações que acabam afetando a qualidade do solo e água subterrânea (NOWAK e IMPEROWICZ, 2016). Um estudo sobre uma bacia hidrográfica em uma região semiárida do México, correlacionou a quantidade de poluição na bacia à contaminação por fossa séptica (LINHOFF et al., 2016).

Ademais, este tipo de disposição de esgotos, não atende aos padrões de lançamento de efluentes estabelecidos na legislação em vigor, que preconiza 60% de remoção de Demanda Bioquímica de Oxigênio na água residuária tratada (CONAMA, 2011).

Desta forma, com a cobertura deficitária e reduzida da rede do esgotamento sanitário nas moradias de Pau dos Ferros, o acesso ao tratamento adequado dos efluentes gerados era limitado, o que pode comprometer ainda mais, a qualidade, da quantidade já escassa, de água disponível nas regiões semiáridas (ODIH et al., 2020).

4.2.2.2 Indicador de Esgoto Tratado e Tanques Sépticos – I_{TE} e Indicador de Saturação de Esgoto – I_{SE}

O acesso aos dados de monitoramento do tratamento dos efluentes sanitários foi solicitado à companhia de saneamento, que não retornou nenhuma das solicitações presenciais e eletrônicas realizadas. As pesquisas mais recentes, desenvolvidas na cidade sobre o esgotamento sanitário, constataram que a taxa do tratamento de esgotos é muito baixa (CHAVES, 2020) ou praticamente inexistente (MAIA, 2016), que o configura como não-salubre. Por estes motivos, o I_{TE} e o I_{SE} tiveram valores nulos e foram categorizados como insalubres.

6.2.2.3 Indicador de Esgotamento Sanitário – I_{ES}

Depois do I_{RH} , o I_{ES} foi o indicador de 2ª ordem do ISA que apresentou menor valor. Este resultado também foi visto em aplicações do ISA nas regiões de todo o Brasil: Norte (COLINA, 2018), Nordeste (ROCHA et al., 2019), Centro-Oeste (BRAGA, BEZERRA e SCALIZE, 2022), Sudeste (TEIXEIRA, 2017) e Sul (BILMAYER, MEZZOMO e GONÇALVES, 2020) do Brasil, que apontaram o esgotamento sanitário como o setor mais precário, em termos de avaliação da salubridade ambiental.

O I_{ES} apresentou média de $0,19 \pm 0,10$. Em 30% dos bairros, sua pontuação ficou na faixa do zero, foram eles: Aluísio Diógenes (0,09), Chico Cajá (0,07), São Vicente de Paula (0,06), Riacho do Meio (0,04), Zeca Pedro (0,03) e Nova Pau dos Ferros (0,00).

O maior valor de I_{ES} (0,30) foi alcançado no Manoel Domingos e no Princesinha. A classificação quanto ao esgotamento sanitário foi de baixa salubridade em 20% dos bairros e de insalubridade em 80% deles. Desta forma, percebe-se que o acesso à rede de coleta e tratamento de esgotos foi o fator explicativo tanto para a variação, como para os baixos valores, do I_{ES} entre os bairros (Tabela 10).

Tabela 10 – Dados de cálculo do I_{ES} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Bairro	I_{CE}	I_{TE}	I_{SE}	I_{ES}	Classificação
Alto do Açude	0,69	0,00	0,00	0,23	Insalubre
Aluísio Diógenes	0,26	0,00	0,00	0,09	Insalubre
Bela Vista	0,33	0,00	0,00	0,11	Insalubre
Centro	0,80	0,00	0,00	0,27	Baixa salubridade
Chico Cajá	0,20	0,00	0,00	0,07	Insalubre
Domingos Gameleira	0,30	0,00	0,00	0,10	Insalubre
Frei Damião	0,64	0,00	0,00	0,21	Insalubre
João XXIII	0,75	0,00	0,00	0,25	Insalubre
Manoel Deodato	0,75	0,00	0,00	0,25	Insalubre
Manoel Domingos	0,89	0,00	0,00	0,30	Baixa salubridade
Nações Unidas	0,75	0,00	0,00	0,25	Insalubre
Nova Pau dos Ferros	0,00	0,00	0,00	0,00	Insalubre
Paraíso	0,47	0,00	0,00	0,16	Insalubre
Princesinha do Oeste	0,89	0,00	0,00	0,30	Baixa salubridade
Riacho do Meio	0,13	0,00	0,00	0,04	Insalubre
São Benedito	0,83	0,00	0,00	0,28	Baixa salubridade
São Geraldo	0,52	0,00	0,00	0,17	Insalubre
São Judas Tadeu	0,68	0,00	0,00	0,23	Insalubre
São Vicente de Paula	0,17	0,00	0,00	0,06	Insalubre
Zeca Pedro	0,08	0,00	0,00	0,03	Insalubre

Legenda: I_{CA} = Indicador de Cobertura de Água; I_{QA} = Indicador de Qualidade de Água; I_{SA} = Indicador de Saturação do Sistema Produtor; I_{AB} = Indicador de Abastecimento de Água.

Fonte: A autora (2022).

Estes resultados mostram a fragilidade da prestação do serviço e a forma desigual de acesso ao esgotamento sanitário nos bairros, sendo este o setor do saneamento básico,

que evidencia maior necessidade de investimentos públicos. Haja vista que, poucos bairros são atendidos por rede coletora e o tratamento das águas residuárias é muito reduzido (CHAVES, 2020).

Apesar das baixas taxas de acesso à coleta e tratamento de esgotos observadas nos bairros de Pau dos Ferros, os achados desta pesquisa indicam que houve avanços no serviço de esgotamento sanitário, já que em 2016 apenas dois bairros da área urbana estavam ligados à rede de esgotos e não havia tratamento dos efluentes coletados em nenhum deles (MAIA, 2016).

4.2.3 Resíduos Sólidos

O indicador de 2ª ordem I_{RS} é constituído pela média aritmética dos indicadores de 3ª ordem I_{CR} , I_{TR} e I_{SR} . A seguir, são apresentados os resultados referente à pontuação de cada um deles, bem como a classificação de salubridade ambiental. E por fim, os valores e categorização do I_{RS} também são mostrados.

4.2.3.1 Indicador de Coleta de Resíduos Sólidos – I_{CR}

A prestação do serviço de coleta de resíduos sólidos mostrou taxas elevadas de cobertura. Todos os bairros de Pau dos Ferros estudados tiveram $I_{CR} \geq 0,96$ e em 80% deles, 100% dos domicílios eram atendidos com o serviço de coleta (Tabela 11).

Tabela 11 – Dados de cálculo do I_{CR} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Continua

Bairro	D_{UC}	D_{UT}	I_{CR}	Classificação
Alto do Açude	134	134	1,00	Salubre
Aluizio Diógenes	40	40	1,00	Salubre
Bela Vista	49	49	1,00	Salubre
Centro	619	619	1,00	Salubre
Chico Cajá	73	73	1,00	Salubre
Domingos Gameleira	90	94	0,96	Salubre
Frei Damião	44	44	1,00	Salubre
João XXIII	161	161	1,00	Salubre
Manoel Deodato	70	72	0,97	Salubre
Manoel Domingos	65	67	0,97	Salubre

Tabela 11 – Dados de cálculo do I_{CR} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

				Conclusão
Bairro	D _{UC}	D _{UT}	I _{CR}	Classificação
Nações Unidas	99	99	1,00	Salubre
Nova Pau dos Ferros	12	12	1,00	Salubre
Paraíso	100	103	0,97	Salubre
Princesinha do Oeste	199	199	1,00	Salubre
Riacho do Meio	253	253	1,00	Salubre
São Benedito	390	390	1,00	Salubre
São Geraldo	132	132	1,00	Salubre
São Judas Tadeu	181	181	1,00	Salubre
São Vicente de Paula	30	30	1,00	Salubre

Legenda: I_{CA} = Indicador de Cobertura de Água; I_{QA} = Indicador de Qualidade de Água; I_{SA} = Indicador de Saturação do Sistema Produtor; I_{AB} = Indicador de Abastecimento de Água.

Fonte: A autora (2022).

A quantidade de resíduos coletados cresceu em todas as regiões do país. Em Pau dos Ferros, a alta taxa do serviço de coleta verificada em todos os bairros, está acima da média de crescimento do setor no país, no Nordeste e no Rio Grande do Norte, que em uma década, passaram de 88% para 92%, de 75% para 81% e de 85% para 89% respectivamente (ABRELPE, 2020).

O município de Pau dos Ferros produz mais de 10 mil toneladas de resíduos sólidos por ano, com média de 30,4 toneladas/dia e geração *per capita* de 1,03 kg/hab.dia, sendo que 90% da população é atendida pelos serviços de limpeza urbana (RIO GRANDE DO NORTE, 2019). O I_{CR} mostrou uma taxa de cobertura superior a apresentada no Plano Estadual de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, com atendimento maior que 96% em todos os bairros analisados.

A coleta dos resíduos sólidos em Pau dos Ferros é feita por meio de seis rotas ordinárias e duas rotas especiais (Quadro 20). Sendo uma realizada na zona central da cidade, depois do horário de encerramento das atividades comerciais; e outra, aos domingos, que além de contemplar o bairro Centro, também atende as principais praças, bares e estabelecimentos de lazer (NOBRE et al., 2021). O recolhimento dos resíduos é executado por três caminhões compactadores, com capacidade de 14 m³ cada, que realizam em média seis descargas diárias no lixão do município (LUNES, 2017).

Quadro 20 – Rotas da coleta de resíduos sólidos em Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Rota	Dia	Bairros atendidos/Áreas de coleta diferenciadas	Horário
1	Segunda, quarta e sexta	Manoel Deodato	Manhã
		São Benedito (SB1)	Tarde
2		Paraíso (P1), São Judas Tadeu (SJT1)	Manhã
		Domingos Gameleira, Manoel Domingos e Nova Pau dos Ferros	Tarde
3		João XXII	Manhã
		Chico Cajá	Tarde
4	Terça, quinta e sábado	Alto do Açude (AA1), Riacho do Meio (RM1), Bela Vista	Manhã
		São Geraldo	Tarde
5	Segunda a sábado	Centro	Noite
6	Terça, quinta e sábado	Paraíso (P2), Riacho do Meio (RM2)	Manhã
		Alto de Açude (AA2), Princesinha	Tarde
7		São Judas Tadeu (SJT2), São Benedito (SB2)	Manhã
		Aluizio Diógenes, Nações Unidas e Zeca Pedro	Tarde
8	Domingo	Praça de eventos, Posto carioca, Independência e Centro	Manhã

Fonte: Adaptado de Nobre et al. (2021).

O São Benedito, um dos bairros mais populosos e antigos da área urbana, é o que evidencia mais obstáculos para a execução do serviço de coleta. Os impedimentos consistem, principalmente, no estreitamento dos logradouros do bairro, que apresentam ruas com pequena largura, atrapalhando o deslocamento de veículos de maior carga (LUNES, 2017).

Com a dificuldade de acesso pelos caminhões coletores ocorrem impasses com os moradores, como a quebra de calçadas e meio-fio (Figura 8). Apesar disso, não houve prejuízo à coleta dos resíduos que atende 100% dos domicílios ($I_{CE} = 1,00$).

Figura 8 – Avarias no calçamento e meio-fio em rua no bairro São Benedito, em Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil



Fonte: Lunes (2017).

4.2.3.2 Indicador de Tratamento e Saturação de Resíduos Sólidos – I_{QR} e I_{SR}

A cidade de Pau dos Ferros não trata os resíduos sólidos que produz (Figura 9), sendo dispostos em um vazadouro a céu aberto (OLIVEIRA JUNIOR e VALONES, 2020; VALONES e SILVA, 2018), que contraria as prerrogativas da Lei Nº 12.305/2010 (BRASIL, 2010).

Figura 9 – Lixão de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil



Fonte: A autora (2019).

Apesar do uso de lixões para a destinação de resíduos sólidos ser ilegal desde 2010, essa ainda é uma prática comum em uma parcela dos países em desenvolvimento

(NAVEEN, 2017) e uma realidade que persiste em municípios de todas as regiões do Brasil (ABRELPE, 2020; PINHEIRO e MOCHEL, 2018).

O lixão de Pau dos Ferros, que está situado a quatro quilômetros da zona central da cidade, tem uma área total em torno de 2,73 hectares. Enquanto que, o local destinado ao aterro sanitário possui cerca de 6 hectares, embora ainda não haja licença ambiental para sua construção (LOPES et al., 2016). A implantação do aterro sanitário no município, teve início em 2001, mas não chegou a ser concluída, em detrimento das muitas irregularidades apresentadas (LUNES, 2017).

Não há um sistema de coleta seletiva implementado no município, mas existe a segregação de materiais recicláveis realizada de modo informal e autônomo por 20 catadores nas ruas da cidade e 24 no próprio no lixão, alguns deles residindo no local (MORAIS, 2018), como pode ser visto na Figura 10.

Figura 10 – Residências no lixão de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil



Fonte: A autora (2019).

Diante da situação irregular, no que se refere ao tratamento e destinação de resíduos sólidos em Pau dos Ferros, o I_{QR} teve pontuação igual a zero. Na inexistência de um sistema de tratamento adequado, pode-se ponderar que este já está saturado, e por isso, o I_{SR} também foi considerado com valor nulo.

4.2.3.3 Indicador de Resíduos Sólidos – I_{RS}

O I_{RS} mostrou pontuação muito condensada entre os bairros (desvio-padrão = 0,00) com valor de 0,33 para 75% deles. Enquanto que, 25% dos bairros (Manoel Domingos, Manoel Deodato, Paraíso, Domingos Gameleira e Zeca Pedro) tiveram valor de 0,32 (Tabela 12).

Tabela 12 – Dados de cálculo do I_{RS} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Bairro	I _{CR}	I _{QR}	I _{SR}	I _{RS}	Classificação
Alto do Açude	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
Aluízio Diógenes	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
Bela Vista	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
Centro	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
Chico Cajá	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
Domingos Gameleira	0,96	0,00	0,00	0,32	Baixa salubridade
Frei Damião	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
João XXIII	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
Manoel Deodato	0,97	0,00	0,00	0,32	Baixa salubridade
Manoel Domingos	0,97	0,00	0,00	0,32	Baixa salubridade
Nações Unidas	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
Nova Pau dos Ferros	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
Paraíso	0,97	0,00	0,00	0,32	Baixa salubridade
Princesinha do Oeste	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
Riacho do Meio	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
São Benedito	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
São Geraldo	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
São Judas Tadeu	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
São Vicente de Paula	1,00	0,00	0,00	0,33	Baixa salubridade
Zeca Pedro	0,97	0,00	0,00	0,32	Baixa salubridade

Legenda: I_{CR} = Indicador de Coleta de Resíduos Sólidos; I_{QR} = Indicador de Tratamento e Disposição Final dos Resíduos Sólidos; I_{SR} = Indicador de Saturação do Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos; I_{RS} = Indicador de Resíduos Sólidos.

Fonte: A autora (2022).

A variação mínima do I_{RS}, indica a homogeneidade no setor de resíduos sólidos, devido, especialmente, à pontuação do I_{QR} e I_{SR} que foi a mesma e do I_{CR} que apresentou altas taxas de cobertura para todos os bairros.

4.2.4 Controle de vetores

O indicador de 2ª ordem I_{CV} é constituído pela média ponderada dos indicadores de 3ª ordem I_{VD} , I_{VE} e I_{VL} . A seguir, são apresentados os resultados referente à pontuação de cada um deles, bem como a classificação de salubridade ambiental. E por fim, os valores e categorização do I_{CV} também são mostrados.

4.2.4.1 Indicador de Dengue – I_{VD}

Casos de dengue foram registrados em todas as localidades avaliadas no estudo e por isso, o valor do $I_{VD} = 0,25$ foi o mesmo para os bairros, categorizados como insalubres para este indicador ($I_{VD} \leq 0,25$). O Nova Pau dos Ferros foi o bairro que teve menor número de notificações, com cinco registros; e o maior, foi o Centro com 200 ocorrências relatadas no ano de 2019.

De acordo com dados apresentados no Boletim Epidemiológico de Arboviroses da Secretaria de Saúde Pública, Pau dos Ferros enquadra-se como município com transmissão de dengue nos últimos 5 anos, pois apresentou 668 casos notificados e 23 casos confirmados, com uma incidência/100mil habitantes de 2213 registros.

Em relação ao controle de vetores, o I_{VD} foi o indicador mais recorrente em outros ISAs aplicados em diferentes lugares do Brasil, que reflete o cenário epidêmico que há da doença no país (SILVA et al., 2017; OLIVEIRA, 2014; VALVASSORI e ALEXANDRE, 2012).

Na maior parte das situações, a ocorrência da dengue estava associada à intermitência do abastecimento público e à necessidade de estocagem domiciliar de água para o consumo humano (DUARTE, BEZERRA e GONÇALVES, 2021), realidades também constatadas nos bairros de Pau dos Ferros, especialmente no Centro, que teve um dos piores indicadores de abastecimento de água ($I_{AB} = 0,33$), devido à baixa cobertura de água ($I_{CA} = 0,66$) e o maior número de casos de dengue da área urbana.

Os casos de dengue em Pau dos Ferros refletem o cenário hiperendêmico da doença no Brasil, que tem um número crescente de notificações anuais (CUNHA et al., 2021). De 30 de dezembro de 2019 a 12 de março de 2020, houve o aumento de 70% nos registros de dengue no país (FIGUEREDO et al., 2020), período que coincidiu com o início da pandemia de COVID-19 e resultou em um surto simultâneo nas primeiras semanas de 2020 (LORENZ, AZEVEDO e CHIARAVALLOTI-NETO, 2020).

A ocorrência conjunta da dengue com a provocada pelo SARS-Cov-2, ambas com alta taxa de mortalidade (RABIU et al., 2021), preocupa especialistas de todo o mundo, devido à já insuficiente infraestrutura de saúde pública, existente em países em desenvolvimento como o Brasil (LONE e AHMAD, 2020), e maiormente, nas cidades do interior (HALLAL et al., 2020).

4.2.4.2 Indicador de Esquistossomose – I_{VE}

Em 70% dos bairros, que não apresentaram nenhum caso de esquistossomose, o I_{VE} foi igual a 1,0, indicando situação salubre para este indicador ($I_{VE} \geq 0,76$). Enquanto que, em 30% das localidades, houve a ocorrência da doença, com $I_{VE} = 0,25$, que denota ambiente de insalubridade ($I_{VE} \leq 0,25$) para os bairros Bela Vista, Nações Unidas, Riacho do Meio, São Benedito, São Geraldo e Zeca Pedro (Quadro 21).

Quadro 21 – Ocorrência de esquistossomose nos bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Bairros	Situação
Bela Vista, Conjunto Nações Unidas, Riacho do Meio, São Benedito, São Geraldo e Zeca Pedro	Com ocorrência de esquistossomose
Alto do Açude, Aluísio Diógenes, Centro, Chico Cajá, Domingos Gameleira, Frei Damião, João XXIII, Manoel Deodato, Manoel Domingos, Nova Pau dos Ferros, Paraíso, Princesinha, São Judas Tadeu e São Vicente de Paula	Sem ocorrência de esquistossomose

Fonte: SESAP (2019).

A esquistossomose foi a doença de menor recorrência nos ISAs calculados na região semiárida do Brasil (ROCHA et al., 2019; RIBEIRO et al., 2018; PEREIRA, 2016), com números de casos baixos ou inexistentes, que podem ser explicados pelo fato do agravo ser transmitido, entre outras formas possíveis, a partir do contato com larvas do parasita em corpos hídricos lânticos, que dada a condição climática, são escassos naqueles locais.

4.2.4.3 Indicador de Leptospirose – I_{VL}

Em 75% dos bairros, que não apresentaram nenhum caso de leptospirose, o I_{VL} foi igual a 1,0, indicando situação salubre para este indicador ($I_{VL} \geq 0,76$). Enquanto que, em 25% das localidades, houve a ocorrência da doença, com $I_{VL} = 0,25$, que denota ambiente de insalubridade ($I_{VL} \leq 0,25$). A situação dos bairros quanto à leptospirose é apresentada na Quadro 22.

Quadro 22 – Ocorrência de leptospirose nos bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Bairros	Situação
Bela Vista, Conjunto Nações Unidas, Manoel Deodato, Riacho do Meio e São Benedito	Com ocorrência de leptospirose
Alto do Açude, Aluísio Diógenes, Centro, Chico Cajá, Domingos Gameleira, Frei Damião, João XXIII, Manoel Domingos, Nova Pau dos Ferros, Paraíso, Princesinha, São Geraldo, São Judas Tadeu, São Vicente de Paula e Zeca Pedro	Sem ocorrência de leptospirose

Fonte: SESAP (2019).

Nos ISAs que foram mensurados em municípios e estados do território nacional, os números mais elevados de registros de leptospirose estiveram relacionados à alagamentos e acontecimento de cheias (SILVA et al., 2017; VALVASSORI e ALEXANDRE, 2012).

4.2.4.4. Indicador de Controle de Vetores – I_{CV}

O I_{CV} foi o indicador de 2ª ordem que apresentou a pontuação mais elevada entre os bairros, o que sugere controle da ocorrência de dengue, leptospirose e esquistossomose em Pau dos Ferros. Sua média foi de $0,81 \pm 0,23$, com valor máximo de 0,81 e mínimo de 0,25 (Tabela 13).

Tabela 13 – Dados de cálculo do I_{CV} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Bairro	I_{VD}	I_{VE}	I_{VL}	I_{CV}	Classificação
Alto do Açude	0,25	1,00	1,00	0,81	Salubre
Aluízio Diógenes	0,25	1,00	1,00	0,81	Salubre
Bela Vista	0,25	0,25	0,25	0,25	Insalubre
Centro	0,25	1,00	1,00	0,81	Salubre
Chico Cajá	0,25	1,00	1,00	0,81	Salubre
Domingos Gameleira	0,25	1,00	1,00	0,81	Salubre
Frei Damião	0,25	1,00	1,00	0,81	Salubre
João XXIII	0,25	1,00	1,00	0,81	Salubre
Manoel Deodato	0,25	1,00	0,25	0,44	Baixa salubridade
Manoel Domingos	0,25	1,00	1,00	0,81	Salubre
Nações Unidas	0,25	0,25	0,25	0,25	Insalubre
Nova Pau dos Ferros	0,25	1,00	1,00	0,81	Salubre
Paraíso	0,25	1,00	1,00	0,81	Salubre
Princesinha do Oeste	0,25	1,00	1,00	0,81	Salubre
Riacho do Meio	0,25	0,25	0,25	0,25	Insalubre
São Benedito	0,25	0,25	0,25	0,25	Insalubre
São Geraldo	0,25	0,25	1,00	0,63	Média salubridade
São Judas Tadeu	0,25	1,00	1,00	0,81	Salubre
São Vicente de Paula	0,25	1,00	1,00	0,81	Salubre
Zeca Pedro	0,25	0,25	1,00	0,63	Média salubridade

Legenda: I_{CV} = Indicador de Controle de Vetores; I_{VD} = Indicador de Dengue; I_{VE} = Indicador de Esquistossomose; I_{VL} = Indicador de Leptospirose.

Fonte: A autora (2022).

No que se refere ao I_{CV} , a baixa incidência de esquistossomose (taxa de I_{VE} = 25%) e leptospirose (taxa de I_{VL} = 30%) indica que as doenças estão controladas nos bairros de Pau dos Ferros (SESAP, 2019). Segundo a Secretaria de Saúde Estadual (2019), o mesmo não foi observado para a ocorrência de dengue (taxa do I_{VD} = 100%), responsável pela diminuição da pontuação final do I_{CV} . Situação também observada na aplicação do ISA em Goiás (LIMA, ARRUDA e SCALIZE, 2019).

4.2.5 Condição socioeconômica

O indicador de 2ª ordem I_{SE} é constituído pela média aritmética dos indicadores de 3ª ordem I_{SP} , I_{RF} e I_{ED} . A seguir, são apresentados os resultados referentes à pontuação de cada um deles, bem como a classificação de salubridade ambiental. E por fim, os valores e categorização do I_{SE} também são mostrados.

4.2.5.1 Indicador de Saúde Pública – I_{SP}

A pontuação média do I_{SP} nos bairros foi de $0,18 \pm 0,22$ e apresentou disparidades extremas, com valores que variaram de 0,00 a 1,00. O Nova Pau dos Ferros foi o único bairro que alcançou pontuação máxima em relação à saúde pública com $I_{SP} = 1,0$. Quanto à avaliação da salubridade do I_{SP} , 5% dos bairros foram classificados como salubres; 25% como baixa salubridade; e 70% como insalubres.

Destes bairros insalubres, 25% apresentaram o I_{SP} com valor igual a zero: Centro, Princesinha, Riacho do Meio, São Benedito e São Judas Tadeu, pois concentraram maior taxa de mortalidade infantil ligada a doenças de veiculação hídrica, e de mortalidade infantil e de idosos relacionada a doenças respiratórias.

4.2.5.2 Indicador de Renda – I_{RF}

A pontuação média do I_{RF} foi de $0,43 \pm 0,19$, variando entre os bairros, de 0,20 a 0,85. O valor máximo e mínimo do indicador foi no Bela Vista ($I_{RF} = 0,85$) e no Chico Cajá ($I_{RF} = 0,20$), respectivamente. Quanto à avaliação da salubridade do I_{RF} , 5% dos bairros foram classificados como salubres; 35% com média salubridade, 55% como baixa salubridade; e 5% como insalubres.

4.2.5.3 Indicador de Escolaridade – I_{ED}

A pontuação média do I_{ED} nos bairros foi de $0,50 \pm 0,35$ e apresentou disparidades extremas, com valores que variaram de 0,00 a 1,00. O Aluísio Diógenes, o Centro, o Manoel Domingos e o Zeca Pedro foram os únicos bairros que alcançaram pontuação máxima em relação ao nível de escolaridade com $I_{ED} = 1,0$. Enquanto que, os bairros João XXIII e Manoel Deodato apresentaram valores nulos ($I_{ED} = 0,00$). Quanto à avaliação da

salubridade do I_{ED} , 30% dos bairros foram classificados como salubres; 20% como média salubridade, 30% como baixa salubridade; e 20% como insalubres.

4.2.5.4 Indicador Socioeconômico – I_{SE}

O bairro que obteve o I_{SE} mais baixo foi o São Geraldo (0,19) e o mais alto (0,78), o Nova Pau dos Ferros. A pontuação média do indicador foi de $0,37 \pm 0,17$. Quanto à avaliação da salubridade do I_{SE} , 5% dos bairros foram classificados como salubres; 20% como média salubridade, 55% como baixa salubridade; e 20% como insalubres (Tabela 14).

Tabela 14 – Dados de cálculo do I_{SE} e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

Bairro	I_{SP}	I_{RD}	I_{ED}	I_{SE}	Classificação
Alto do Açude	0,09	0,30	0,55	0,31	Baixa salubridade
Aluízio Diógenes	0,30	0,70	1,00	0,67	Média salubridade
Bela Vista	0,29	0,85	0,59	0,58	Média salubridade
Centro	0,00	0,38	1,00	0,46	Baixa salubridade
Chico Cajá	0,24	0,20	0,40	0,28	Baixa salubridade
Domingos Gameleira	0,30	0,72	0,34	0,45	Baixa salubridade
Frei Damião	0,02	0,30	0,37	0,23	Insalubre
João XXIII	0,24	0,58	0,00	0,27	Baixa salubridade
Manoel Deodato	0,25	0,37	0,00	0,21	Insalubre
Manoel Domingos	0,17	0,70	1,00	0,62	Média salubridade
Nações Unidas	0,18	0,30	0,55	0,34	Baixa salubridade
Nova Pau dos Ferros	1,00	0,50	0,83	0,78	Salubre
Paraíso	0,16	0,38	0,37	0,30	Baixa salubridade
Princesinha do Oeste	0,00	0,27	0,95	0,41	Baixa salubridade
Riacho do Meio	0,00	0,70	0,02	0,24	Insalubre
São Benedito	0,00	0,70	0,47	0,39	Baixa salubridade
São Geraldo	0,09	0,38	0,10	0,19	Insalubre
São Judas Tadeu	0,00	0,30	0,52	0,27	Baixa salubridade
São Vicente de Paula	0,30	0,53	0,38	0,40	Baixa salubridade
Zeca Pedro	0,30	0,47	1,00	0,59	Média salubridade

Legenda: I_{SP} = Indicador de Saúde Pública; I_{RD} = Indicador de Renda; I_{ED} = Indicador de Educação; I_{SE} = Indicador Socioeconômico.

Fonte: A autora (2022).

Quanto ao I_{SE} , a baixa renda, a mortalidade infantil e a baixa escolaridade explicam a vulnerável situação socioeconômica na maior parte dos bairros de Pau dos Ferros. Quase metade da população (40,5%) tinha rendimento nominal mensal *per capita* de até 1/2 salário mínimo (IBGE, 2010).

4.2.6 Indicador de Salubridade Ambiental – ISA

O indicador de 1ª ordem ISA é constituído pela média ponderada dos indicadores de 2ª ordem I_{AB} , I_{ES} , I_{RS} , I_{CV} , I_{RH} e I_{SE} . A partir da pontuação do indicador, a classificação do nível de salubridade ambiental foi determinada. Os resultados podem ser verificados na Tabela 15.

Tabela 15 – Dados de cálculo do ISA e sua respectiva classificação de salubridade, para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

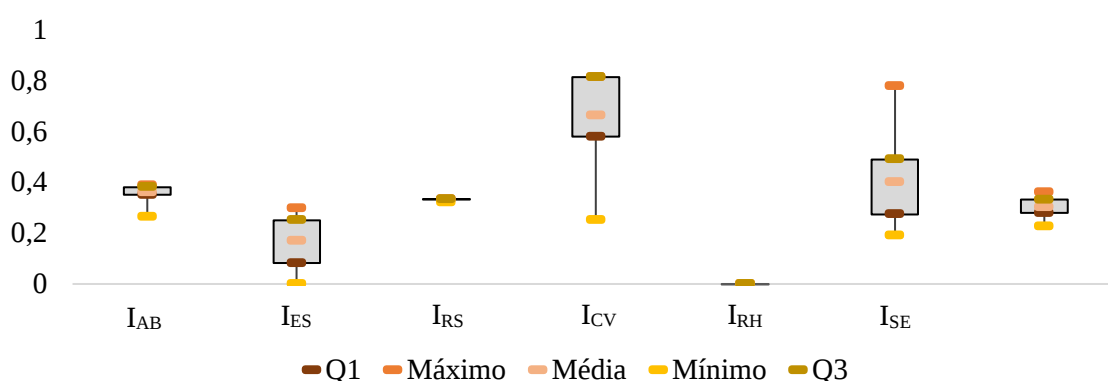
Nome do bairro	População						ISA	Situação
	estimada (hab.)	I_{AB}	I_{ES}	I_{RS}	I_{CV}	I_{SE}		
Alto do Açude	1404	0,39	0,23	0,33	0,81	0,31	0,33	Baixa salubridade
Aluísio Diógenes	413	0,38	0,09	0,33	0,81	0,67	0,31	Baixa salubridade
Bela Vista	513	0,38	0,11	0,33	0,25	0,58	0,26	Baixa salubridade
Centro	6464	0,33	0,27	0,33	0,81	0,46	0,34	Baixa salubridade
Chico Cajá	760	0,39	0,07	0,33	0,81	0,28	0,29	Baixa salubridade
Nações Unidas	987	0,26	0,25	0,33	0,25	0,34	0,25	Insalubre
Domingos Gameleira	464	0,37	0,10	0,32	0,81	0,45	0,30	Baixa salubridade
Frei Damião	1686	0,35	0,21	0,33	0,81	0,23	0,32	Baixa salubridade
João XXIII	753	0,37	0,25	0,33	0,81	0,27	0,33	Baixa salubridade
Manoel Deodato	698	0,27	0,25	0,32	0,44	0,21	0,27	Baixa salubridade
Manoel Domingos	1035	0,37	0,30	0,32	0,81	0,62	0,36	Baixa salubridade
Nova Pau dos Ferros	124	0,39	0,00	0,33	0,81	0,78	0,30	Baixa salubridade
Paraíso	1077	0,38	0,16	0,32	0,81	0,30	0,31	Baixa salubridade
Princesinha	2074	0,34	0,30	0,33	0,81	0,41	0,34	Baixa salubridade
Riacho do Meio	2638	0,38	0,04	0,33	0,25	0,24	0,23	Insalubre
São Benedito	4080	0,33	0,28	0,33	0,25	0,39	0,28	Baixa salubridade
São Geraldo	1383	0,36	0,17	0,33	0,63	0,19	0,29	Baixa salubridade
São Judas Tadeu	1889	0,38	0,23	0,33	0,81	0,27	0,33	Baixa salubridade
São Vicente de Paula	310	0,39	0,06	0,33	0,81	0,40	0,30	Baixa salubridade
Zeca Pedro	413	0,38	0,03	0,32	0,63	0,59	0,27	Baixa salubridade

Legenda: hab. = habitantes, I_{AB} = Indicador de Abastecimento de Água, I_{ES} = Indicador de Esgotamento Sanitário, I_{RS} = Indicador Resíduos Sólidos, I_{CV} = Indicador Controle de Vetores, I_{SE} = Indicador Socioeconômico.

Fonte: A autora (2022).

Mediante avaliação do conhecimento produzido, foi verificado que uma parte dos indicadores de 1ª, 2ª e 3ª ordem mostraram resultados similares entre os bairros avaliados, que serão detalhados em seguida. O ISA apresentou média de $0,30 \pm 0,03$, que mostra uma baixa variabilidade entre os bairros, apesar das oscilações acentuadas no valor do I_{ES} , I_{CV} e I_{SE} (Figura 11).

Figura 11 – Gráfico *boxplot* com informações de primeiro quartil, máximo, média, mínimo e terceiro quartil dos indicadores de 2ª ordem I_{AB} , I_{ES} , I_{RS} , I_{CV} , I_{RH} , I_{SE} e de 1ª ordem ISA dos 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

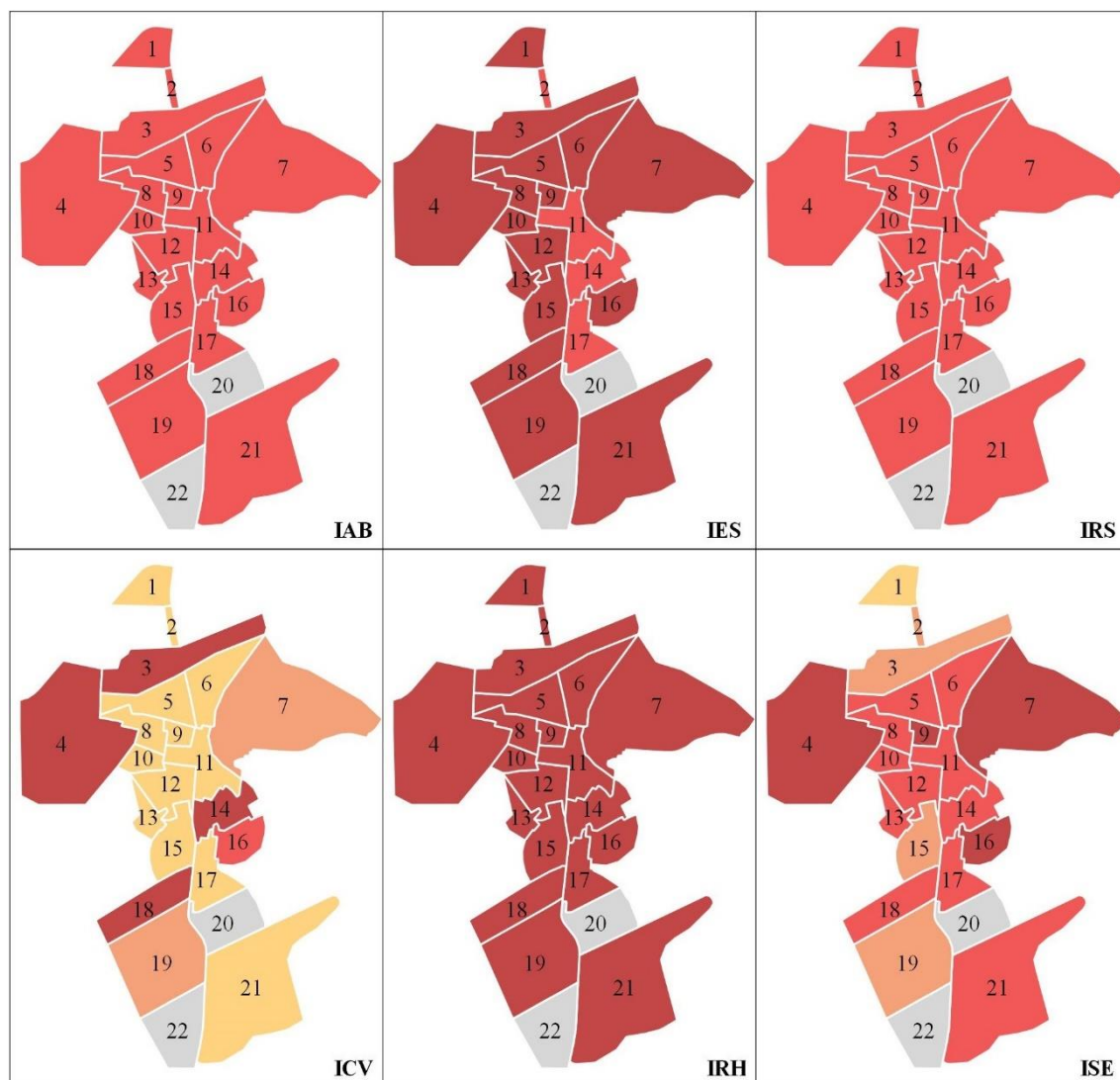


Fonte: A autora (2022).

Dos 20 bairros avaliados, 10% foram classificados como insalubres (Figura 12): Nações Unidas ($ISA = 0,25$) e Riacho do Meio ($ISA = 0,23$). Enquanto que, 90% dos bairros foram categorizados como de baixa salubridade, com variação entre 0,26 a 0,36. Os indicadores de 2ª ordem, que mais influenciaram no baixo resultado do ISA, para todos os bairros, foram o I_{RH} e o I_{ES} . Por outro lado, o indicador de 2ª ordem I_{CV} foi o que teve maior interferência, para elevar a pontuação do ISA, nos bairros estudados (Figura 12).

Na avaliação da pandemia, observou-se ainda, a influência socioeconômica nos níveis de salubridade ambiental, já que populações com baixa renda são mais expostas à contaminação por doenças infecciosas, incluindo pelo SARS-CoV-2, devido à falta de acesso a saneamento básico e à água tratada (PARIKH et al., 2020).

Figura 12 – Cartograma da classificação de salubridade ambiental do I_{AB} , I_{ES} , I_{RS} , I_{CV} , I_{RH} e I_{SE} nos 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil



Índices - Situação - ISA 2019

0,00 - 0,25 - Insalubre	0,51 - 0,75 - Média salubridade	Bairros não participantes da pesquisa
0,26 - 0,50 - Baixa salubridade	0,76 - 1,00 - Salubre	

Bairros

1 - Nova Pau dos Ferros	7 - São Geraldo	13 - São Vicente de Paula	18 - Nações Unidas
2 - Manoel Domingos	8 - Paraíso	14 - São Benedito	19 - Zeca Pedro
3 - Bela Vista	9 - Frei Damião	15 - Aluizio Diógenes	20 - Loteamento Arizona
4 - Riacho do Meio	10 - Alto do Açude	16 - Manoel Deodato	21 - Chico Cajá
5 - Domingos Gameleira	11 - Centro	17 - Princesinha	22 - João Catingueira
6 - João XXIII	12 - São Judas Tadeu		

Fonte: A autora (2022).

4.2.6.1 Análise dos ISAs aplicados no semiárido do Brasil

Há quase duas décadas, o primeiro ISA foi mensurado, pela primeira vez, no semiárido do Brasil, por meio de uma pesquisa realizada no povoado Ilha do Ouro, situado em Porto da Folha, no estado de Sergipe (NERI, 2005).

Contudo, a expressiva determinação do Indicador de Salubridade Ambiental em zonas semiáridas foi recente, tendo sido a maior parte dos trabalhos efetivados nos últimos cinco anos e, predominantemente, no ano de 2021, que reuniu 27% das utilizações. Entre o ano de 2018 a 2022, foram medidos 72% dos ISAs.

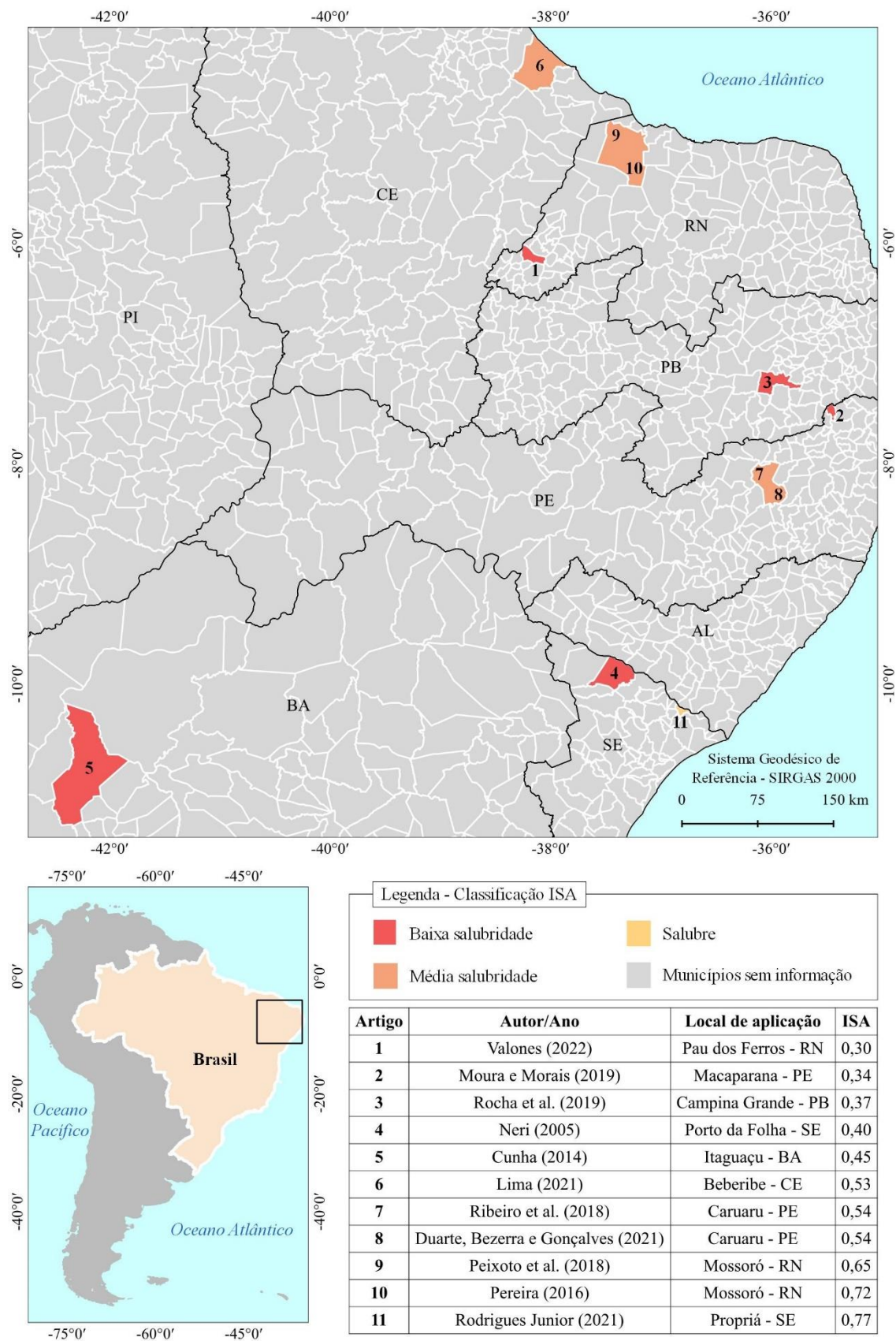
Desde o uso pioneiro, o ISA foi adotado para determinar a salubridade ambiental em 11 localidades, distribuídas em seis dos nove estados, que abrigam o semiárido brasileiro.

Os estados do Rio Grande do Norte – RN e de Pernambuco – PE acumulam, cada um, igualmente, 33% das aplicações. Enquanto que, o estado de Sergipe – SE possui 18% dos estudos do ISA. E por fim, os estados do Ceará – CE, Bahia – BA e Paraíba – PB concentram 9% dos usos do indicador. Os estados que ainda não tem ISA calculado, para sua região semiárida, são Alagoas – AL, Piauí – PI e Minas Gerais – MG.

A pontuação média do ISA, na área semiárida do território nacional, foi de $0,53 \pm 0,16$. A melhor situação de salubridade ambiental foi verificada no município de Propriá – SE (ISA = 0,77), sendo considerado o único salubre. A pior condição, em Pau dos Ferros – RN (ISA = 0,30), sendo classificado como de baixa salubridade.

Em relação aos demais lugares que tiveram seus respectivos ISAs calculados, 50% foram categorizados como de média salubridade (Mossoró – RN, Caruaru – PE e Beberibe – CE), com variação de $0,72 \leq \text{ISA} \leq 0,53$; e 50% como de baixa salubridade (Pau dos Ferros – RN, Macaparana – PE, Campina Grande – PB, Porto da Folha – SE e Itaguaçu – BA), com variação de $0,30 \leq \text{ISA} \leq 0,45$. Nenhum dos municípios analisados foi considerado insalubre (Figura 13).

Figura 13 – Geoespacialização da classificação de salubridade ambiental no semiárido brasileiro, a partir do uso do ISA



Fonte: A autora (2022).

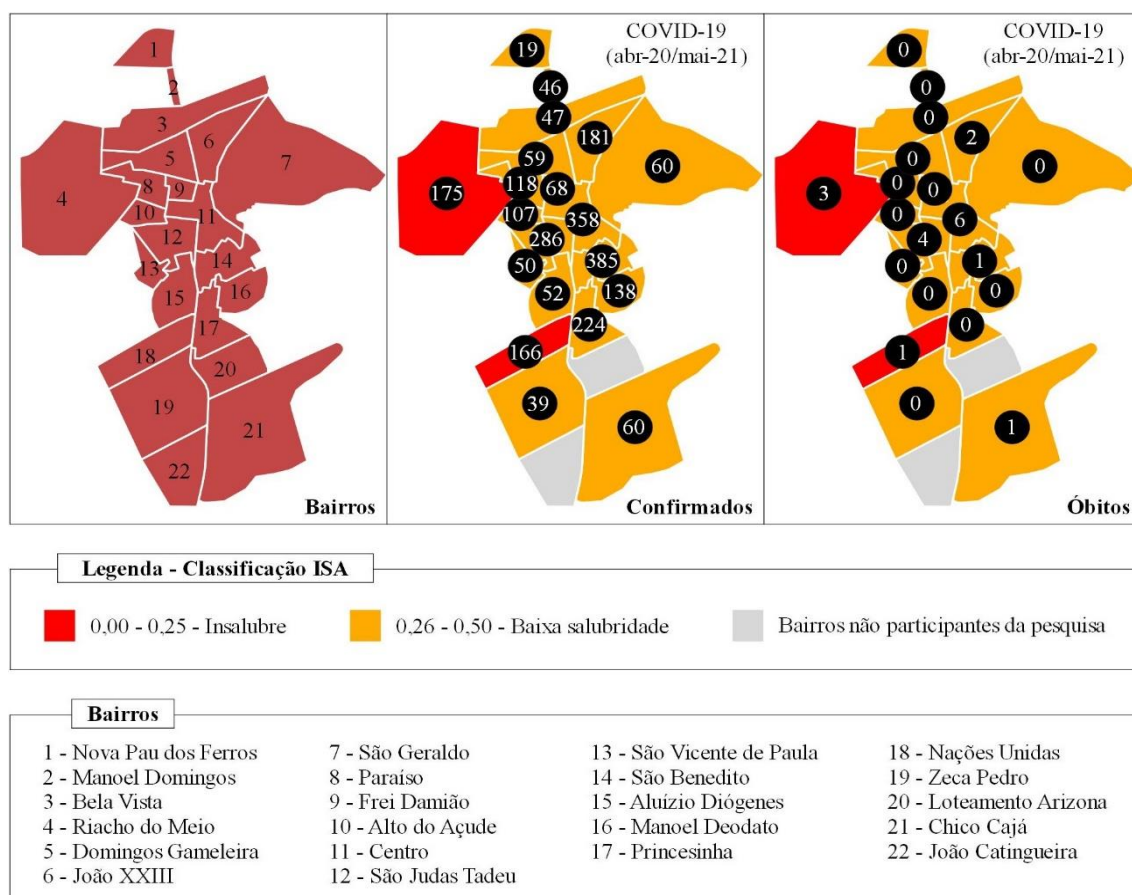
4.4 AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE ISA E COVID-19

4.4.1 Geoespacialização do ISA, dos casos confirmados e de óbitos por COVID-19

Nos 20 bairros avaliados de Pau dos Ferros, 2638 casos de COVID-19 e 18 óbitos foram diagnosticados até a 21ª semana epidemiológica de 2021. A média de casos por bairro foi de $87,50 \pm 108,21$, variando de 19 a 385 casos.

A maior incidência da COVID-19 foi registrada no São Benedito com 15% registros, seguido do Centro (14%); São Judas Tadeu (11%); Princesinha (8%); João XXIII e Riacho do Meio (7%); Nações Unidas (6%); Manoel Deodato (5%); Paraíso e Alto do Açude (4%); Frei Damião (3%); Chico Cajá, São Geraldo, Domingos Gameleira, Aluísio Diógenes, São Vicente de Paula, Bela Vista e Manoel Domingos (2%); Zeca Pedro e Nova Pau dos Ferros (1%), que teve o menor número de casos com 19 notificações (Figura 14).

Figura 14 – Cartograma da salubridade ambiental, dos casos confirmados e óbitos por COVID-19 nos bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil

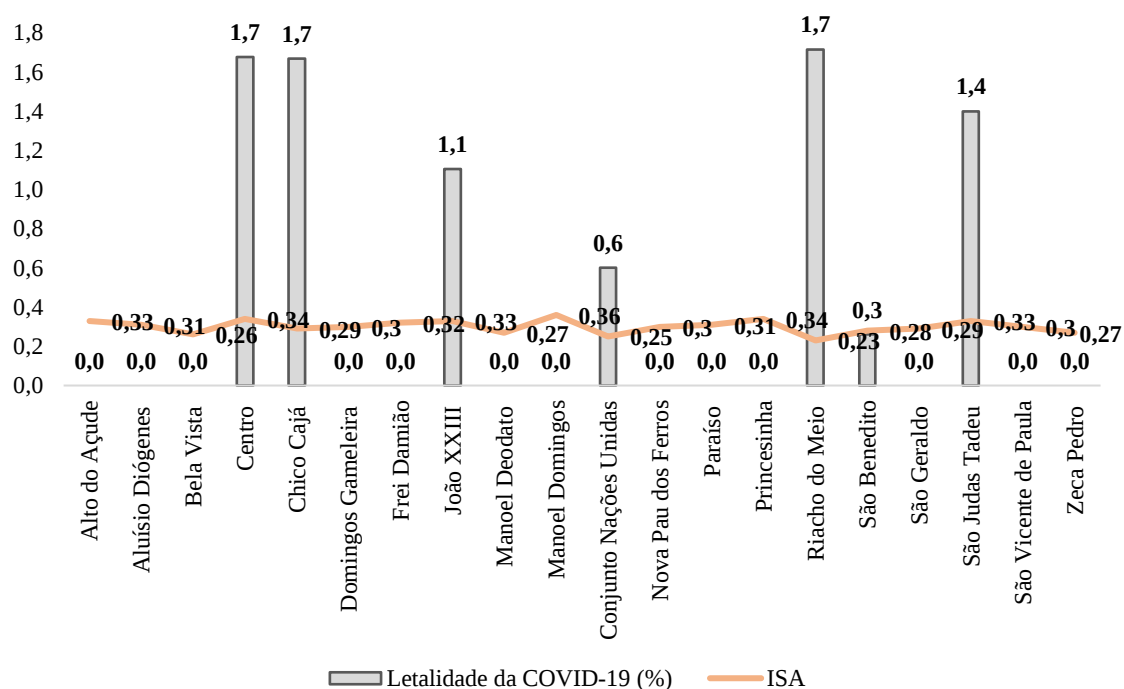


Fonte: A autora (2022).

O primeiro caso de COVID-19 ocorreu em 05 de abril de 2020 e se tratou de uma mulher de 32 anos, residente no bairro Riacho do Meio (RIO GRANDE DO NORTE, 2020). O primeiro óbito oficial foi registrado em 07 de maio de 2020, a vítima era um homem de 76 anos, que não teve o bairro em que residia divulgado (RIO GRANDE DO NORTE, 2020).

Até 28 de maio de 2021, a razão entre o número de óbitos e o número de casos confirmados notificados pela COVID-19, foi mais alta nos bairros Centro, Chico Cajá e Riacho do Meio (1,7%). Dos dois bairros classificados pelo ISA como insalubres, a taxa de letalidade foi maior no Riacho do Meio (1,7%), em contraste a do Nações Unidas (0,6%), como é mostrado na Figura 15.

Figura 15 – ISA e taxa de letalidade da COVID-19 para os 20 bairros de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte, Brasil



Fonte: A autora (2022).

A menor taxa de letalidade (0,3%) foi observada no bairro São Benedito, classificado pelo ISA como de baixa salubridade. Dos 20 bairros avaliados, 13 tiveram taxa de letalidade nula: Alto do Açude, Aluísio Diógenes, Bela Vista, Domingos Gameleira, Frei Damião, Manoel Deodato, Manoel Domingos, Nova Pau dos Ferros, Paraíso, Princesinha, São Geraldo, São Vicente de Paula e Zeca Pedro.

A pandemia alcançou 100% dos bairros de Pau dos Ferros e em 65% deles não houve registro de óbitos até a data de 28 de maio de 2021.

Os resultados mostram que, em um mesmo município, ainda que haja similaridade da pontuação dos indicadores entre os bairros, há heterogeneidade no nível de salubridade e na ocorrência da COVID-19. Esses diferentes valores podem estar associados a inúmeros fatores intervenientes (ALBUQUERQUE e RIBEIRO, 2020; KERR et al., 2020), como por exemplo, o abastecimento de água e a reserva hídrica disponível.

Em relação à COVID-19 em Pau dos Ferros, a transmissão da doença poderia ter sido amplificada, devido ao movimento pendular, provocado pelo intenso fluxo de pessoas, que passam pela cidade diariamente (DANTAS, CLEMENTINO e FRANÇA, 2015). Como também, em função da baixa salubridade ambiental e das fragilidades, em serviços centrais no combate à pandemia, como o acesso contínuo à água potável e rede de esgoto (EKUMAH et al., 2020).

Entretanto, deve-se considerar que a evolução da pandemia se encontrava em momentos distintos em cada local do Brasil (AQUINO et al., 2020). As tendências dos casos mostraram que o SARS-CoV-2, se espalhava de forma heterogênea e com uma velocidade diferente, nas cidades do interior do Nordeste do país (HALLAL et al., 2020; COSTA DE ASSIS et al., 2021), sendo possível que os dados estivessem subestimados (subnotificação), situação que acontecia em outras localidades do Brasil (AQUINO et al., 2020).

A subnotificação acontece primeiro, pelo retardamento que há entre o momento de contaminação, apresentação dos sintomas iniciais, coleta e resultado dos exames (KERR et al., 2020). Segundo, pela incerteza, demora e equívoco na sincronização dos dados entre as secretarias municipais e estaduais de saúde (JORGE et al., 2021), que explica o ocorrido com a divulgação do primeiro caso confirmado de COVID-19 em Pau dos Ferros, noticiado pela prefeitura, em 13 de abril de 2020 (PAU DOS FERROS, 2020); e pela Secretaria de Saúde estadual em 05 de abril de 2020 (SESAP, 2020). Por fim, devido à própria subnotificação, pelas limitações de testagem em massa da população (AQUINO et al., 2020).

Existem evidências da transmissão do novo coronavírus antes da confirmação dos primeiros casos oficiais (SOUZA et al., 2020), tanto que, o primeiro óbito por COVID-19 em Pau dos Ferros só foi confirmado após a morte da vítima (SESAP, 2020). Situação similar aconteceu na capital do estado vizinho, o Ceará, que em uma investigação retrospectiva mostrou que 50 casos de COVID-19 haviam sido confirmados um dia após

a notificação de Wuhan à OMS em janeiro (CEARÁ, 2020). Sendo que a notificação do primeiro caso da doença no país, foi divulgada em 26 de fevereiro de 2020, no estado de São Paulo.

Em Pau dos Ferros, todos os bairros apresentaram taxa de letalidade abaixo da média nacional, que era de 2,7 % em abril de 2021 (BRASIL, 2021) e o padrão de distribuição dos casos no município sugeria que os efeitos da pandemia podiam ter sido amenizados, por causa da implementação precoce, pelo poder público local, de medidas restritivas para contenção do vírus, como: a declaração do estado de emergência; a criação de comitê de monitoramento da COVID-19; a alocação de barreiras sanitárias; a proibição de aglomerações; a suspensão temporária de aulas presenciais nas escolas e instituições de ensino; a identificação e isolamento dos casos e contatos confirmados; a recomendação do distanciamento social, da etiqueta respiratória e do uso de máscaras (AQUINO et al., 2020; DEHNING et al., 2020; PAU DOS FERROS, 2020).

Também estão relatadas na literatura técnico-científica, a influência de aspectos meteorológicos e socioeconômicos, como condições associadas à menor taxa de transmissão, baixa gravidade da COVID-19 ou menor tempo de viabilidade do SARS-CoV-2. Todas essas condições são características do município de Pau dos Ferros, e podem explicar a conjuntura da pandemia local. Entre os fatores de clima, cita-se a alta exposição solar (ALBUQUERQUE e RIBEIRO, 2020) e a ocorrência de elevadas temperaturas (SHARIFI e KHAVARIAN-GARMSIR, 2020).

E entre as variáveis socioeconômicas, menciona-se a baixa densidade populacional que favorece, naturalmente, o distanciamento social (BRAUER et al., 2020; HAMIDI, SABOURI e EWING, 2020), a faixa etária da população, que em Pau dos Ferros é composta, predominantemente, por jovens e jovens adultos (IBGE, 2010), e ausência de transporte público coletivo (FEDERGRUEN E NAHA, 2021; FERRETTI et al., 2020).

Os questionamentos em torno do comportamento da COVID-19 em Pau dos Ferros, no Brasil e no mundo não se esgotaram. As evidências reafirmam que o acesso ao saneamento é essencial no controle da disseminação da doença (SILVA et al., 2020; EKUMAH et al., 2020; PARIKH et al., 2020).

Por outro lado, a vulnerabilidade de qualquer localidade, para ter maior ou menor transmissão e letalidade pelo SARS-Cov-2, não é determinada por um fator isolado (MARINELLI et al., 2020). É a soma de diferentes variáveis, entre elas, as condições

ambientais de salubridade ambiental de cada lugar, que irá influenciar no risco de disseminação e óbitos pela COVID-19 (ESLAMI e JALILI, 2020; WHO, 2020).

4.4.2 Análise de Componente Principal – PCA

Os resultados da PCA estão apresentados em três grupos de correlação (e suas respectivas variáveis são eles que serão a seguir detalhados: 4.4.2.1 Indicador ISA e COVID-19 (ISA, COV – C e COV – O); 4.4.2.2 Indicadores de 2ª ordem e COVID-19 (I_{AB} , I_{ES} , I_{RS} , I_{CV} , I_{SE} , COV – C e COV – O); e 4.4.2.3 ISA, COVID-19, Escolaridade e Renda (ISA, COV–C, COV – O, EAN, EAL, EFD, EMD, ESP, EPG, RMSM, R1SM, R2SM e R3SM).

A porcentagem de variância explicada (que é o quanto cada componente principal explica aquele conjunto de dados), e de variância acumulada, dos fatores nas componentes principais, são abaixo mostrados.

4.4.2.1 Correlação entre ISA e COVID-19

Pela proporção das variâncias explicadas das três componentes principais, percebe-se que duas delas (PC1 e PC2) carregam a maior parte, 90.398% da variância total, da informação dos dados. As PCs da matriz de correlação amostral, com suas respectivas proporções de variância explicada e acumulada, da correlação ISA e COVID-19, são visualizadas na Tabela 15.

Tabela 15 – Variância explicada e acumulada das componentes principais

Componentes principais	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
1	57.913	57.913
2	32.485	90.398
3	9.602	100.00

Fonte: A autora (2022).

Todas as variáveis foram bem explicadas pelo modelo. Deste modo, os indicadores relacionados à COVID-19 foram esclarecidos pela PC1, ao passo que, o ISA foi explicado pela PC2, ambos com valores próximos de um, como é mostrado na Tabela 16.

Tabela 16 – Autovetores das PC1 e PC2

Indicadores	Componentes Principais	
	1	2
ISA	0.240	0.971
COV – C	0.918	-0.111
COV – O	0.915	-0.143

Legenda: ISA = Indicador de Salubridade Ambiental, COV – C = Casos confirmados de COVID-19, COV – O = Óbitos por COVID-19.

Fonte: A autora (2022).

A partir dos valores obtidos, foi verificada forte correlação positiva, entre os indicadores de COVID-19 (COV – C e COV – O) na PC1. Esta é uma associação esperada, que pode ser justificada, pelo fato de que o número de óbitos registrados, são também, parte da quantidade de casos confirmados de COVID-19, que tiveram como desfecho, não a recuperação, mas o falecimento da vítima.

Na avaliação deste estudo em Pau dos Ferros, a forte correlação entre COV – C e COV – O, pode representar que, quanto maior o número de casos positivos de COVID-19 em um bairro, maior a chance de óbitos nesse local. Isto foi observado, na análise da relação casos confirmados por óbitos em cada bairro, onde o Centro e o São Judas Tadeu ocuparam o segundo (358/13,57%) e terceiro (286; 10,84%) lugares, consecutivamente, no número/porcentagem de casos confirmados registrados. E foram o primeiro (Centro, 6/33,33%) e segundo (São Judas Tadeu, 4/22,22%) ranqueados, respectivamente, quanto ao número/porcentagem de óbitos.

Comportamento similar, no mesmo período desta pesquisa (2020 e 2021), em relação às notificações de COVID-19, foi verificado em vários países no mundo, a citar os Estados Unidos – EUA e o Brasil – BR, que tiveram respectivamente o maior número de habitantes que testaram positivo (EUA = 49.387.208 milhões; BR = 22.157.726 milhões) e que morreram (EUA = 791.514 mil; BR = 616.018 mil) por COVID-19 (OXFORD, 2021).

Por outro lado, nações como a Índia – IN tiveram mais pessoas positivas para a COVID-19 (IN = 34.656.822 milhões) e menor número de mortes (IN = 473.952 mil) que o Brasil, no mesmo período avaliado (OXFORD, 2021).

Deste modo, entre as possibilidades interpretativas da informação do modelo, destaca-se que, objetivamente, quanto maior o número de casos, maior a chance de morte pela doença do novo coronavírus (ONDER et al., 2020).

E embora o padrão proporcional do quantitativo de casos confirmados por números de óbitos tenha sido constatado em outras localidades, esse não deve ser um aspecto avaliado, isoladamente, para predizer o motivo dos índices de transmissão e mortalidade pelo SARS-CoV-2 (COSTA DE ASSIS et al., 2021; HEYMANN e SHINDO, 2020).

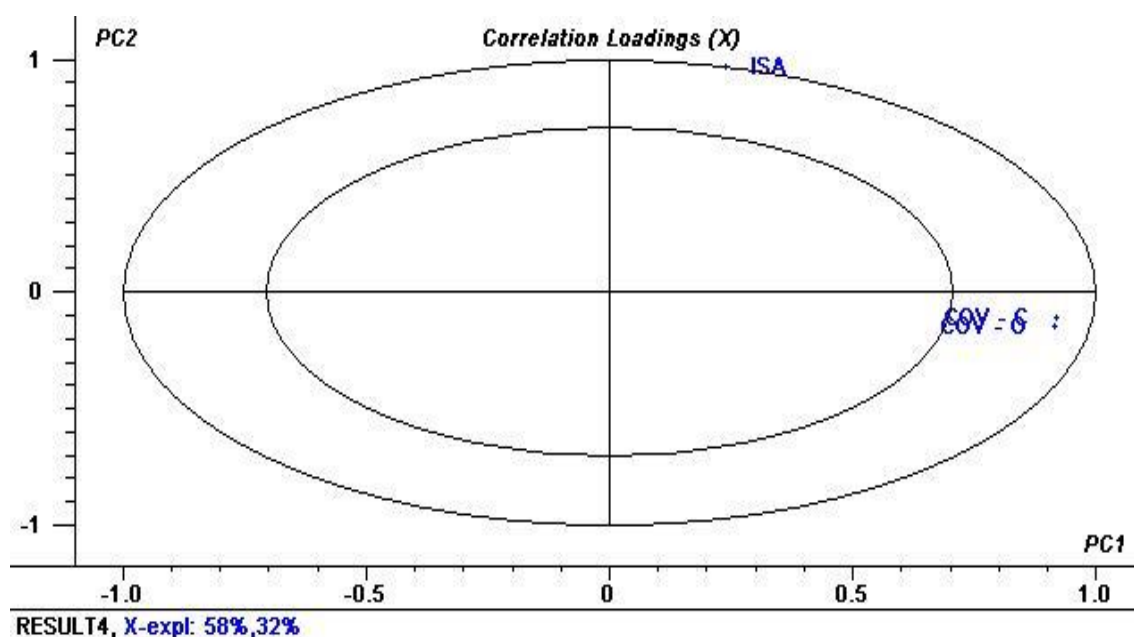
Outros fatores, devem ser também considerados no entendimento dessa correlação, como as condições ambientais (ESLAMI e JALILI, 2020), as medidas políticas (IOANNIDIS, CRIPPS e TANNER, 2022), os aspectos meteorológicos (ALBUQUERQUE e RIBEIRO, 2020), as características socioeconômicas (WHITEHEAD, TAYLOR-ROBINSON e BARR, 2021), a infraestrutura sanitária (PARIKH et al., 2020), a saúde pública (WHO, 2020) e a densidade populacional (PEREZ-MARTINEZ et al., 2022).

No quesito adensamento demográfico, o Centro é o bairro mais populoso de Pau dos Ferros com 6.464 habitantes, que equivale a 22,16% da população do município. Também, é o bairro que concentra, maiormente, a população flutuante da cidade, advinda de mais de 30 municípios circunvizinhos diferentes, que busca no Centro, os serviços bancários, de alimentação e comerciais que ali estão reunidos e disponibilizados (SOUTO, SOUSA JÚNIOR e LIMA JÚNIOR, 2019).

Esse constante movimento pendular e aglomeração contínua de pessoas (DURÁN-POLANCO e SILLER, 2021), sugere o maior volume de casos e óbitos nesse bairro. O Centro também é constituído de moradores que possuem em suas residências, seu local de trabalho. Sendo constituído de serviços que não foram interrompidos e que não tinham a opção de ser realizados remotamente, durante os períodos de maior transmissão e letalidade da pandemia.

Quanto à associação dos indicadores de COVID-19 com o ISA, não foram estabelecidos padrões de correlação positiva nem negativa, com base no conjunto de dados analisado. Isoladamente, os dois indicadores foram bem explicados, pela PC1 (COVID-19) e pela PC2 (ISA) conforme é apresentado na Figura 17.

Figura 17 – Mapa perceptual da ordenação dos vetores das variáveis de COVID-19 e ISA nas duas componentes principais



Fonte: A autora (2022).

4.4.2.2 Correlação indicadores de 2ª ordem e COVID-19

As três componentes principais (PC1, PC2 e PC3) explicaram, simultaneamente, 73.414% da variância acumulada do conjunto de dados. As componentes principais da matriz de correlação amostral, com suas respectivas proporções de variância explicada e acumulada, são visualizadas na Tabela 17.

Tabela 17 – Variância explicada e total das PCs

Componentes principais	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
1	38.697	38.697
2	19.709	58.406
3	15.008	73.414
4	11.549	84.963
5	8.875	93.838
6	4.296	98.134
7	1,866	100.000

Fonte: A autora (2022).

O modelo explicou bem todos os fatores. Nota-se que, por meio da proporção das variâncias explicadas, a PC1 carregou a maior parte da informação dos dados dos I_{AB} , I_{ES} , I_{SE} , $COV - C$ e $COV - O$. Já a PC2 explicou os indicadores I_{AB} , I_{RS} e $COV - O$. Por fim, o I_{CV} foi o único indicador bem explicado pela PC3, como é apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 – Autovetores das PC1, PC2 e PC3

Indicadores	Componentes Principais		
	1	2	3
I_{AB}	-0.667	0.607	0.048
I_{ES}	0.731	-0.199	-0.476
I_{RS}	0.326	0.589	0.488
I_{CV}	-0.383	0.460	-0.750
I_{SE}	-0.546	0.093	0.132
$COV - C$	0.881	0.241	-0.057
$COV - O$	0.634	0.588	-0.012

Fonte: A autora (2022).

Na PC1, foi observada a correlação positiva entre os indicadores I_{AB} e I_{SE} , e entre os indicadores de COVID-19 ($COV - C$ e $COV - O$) com o I_{ES} ; bem como, a correlação negativa entre os indicadores I_{AB} e I_{SE} com I_{ES} e indicadores de COVID-19.

A associação percebida entre os indicadores I_{AB} e I_{SE} , sugere que os bairros de Pau dos Ferros que possuem maior acesso à água, são os que, também tendem, a apresentar melhores condições socioeconômicas. Esta relação foi observada no Nova Pau dos Ferros que obteve o maior valor de I_{AB} e de I_{SE} entre os bairros avaliados, como também apresentou taxa máxima de cobertura da rede pública de água ($I_{CA} = 1,00$) e melhor classificação de salubridade quanto ao abastecimento.

A relação da renda e do acesso à água é bem estabelecida pela literatura científica (TAVIANI e PEDRO, 2022; KRISTEN et al., 2021; DONDE et al., 2021; OMAR et al., 2017; CHARLOTTE et al., 2016; SORENSON, MORSSINK e CAMPOS, 2011), como fatores proporcionais entre si, isto é, populações com níveis financeiros mais elevados são melhores assistidas por serviços de rede de água tratada (BAIN et al., 2021; FREMPONG, KITZMÜLLER e STADELMANN, 2021).

O padrão de correlação positivo entre os indicadores de COVID-19 ($COV - C$ e $COV - O$) e o I_{ES} indica que quanto maior o acesso ao esgotamento sanitário, maior o número de casos confirmados e de óbitos por COVID-19. A complexidade dessa

associação pode ser esclarecida ao analisar a realidade de bairros como o Centro, que apesar da pontuação elevada de cobertura de rede de esgoto ($I_{CE} = 0,80$) foi também o bairro que apresentou 358 casos confirmados de COVID-19 e concentrou a maior taxa de óbitos (33,33%).

Ademais, os bairros de Pau dos Ferros, que possuem taxas mais elevadas de rede de coleta e tratamento de esgoto, são também aqueles que detêm maior poder econômico e, por conseguinte, possibilidade mais ampla de testagem particular para a detecção de COVID-19. Haja vista que, a realização de testes foi restrita e a subnotificação um fato evidenciado, especialmente, nas áreas pobres da cidade.

Da mesma forma, no conjunto de dados, foi verificada uma correlação negativa entre os indicadores I_{AB} e I_{SE} com I_{ES} e indicadores de COVID-19. Essa informação sugere que os bairros que tiveram maior acesso à água e elevada condição socioeconômica, apresentaram, em contraste, menor atendimento quanto ao esgotamento sanitário e número reduzido de casos positivos e óbitos por COVID-19.

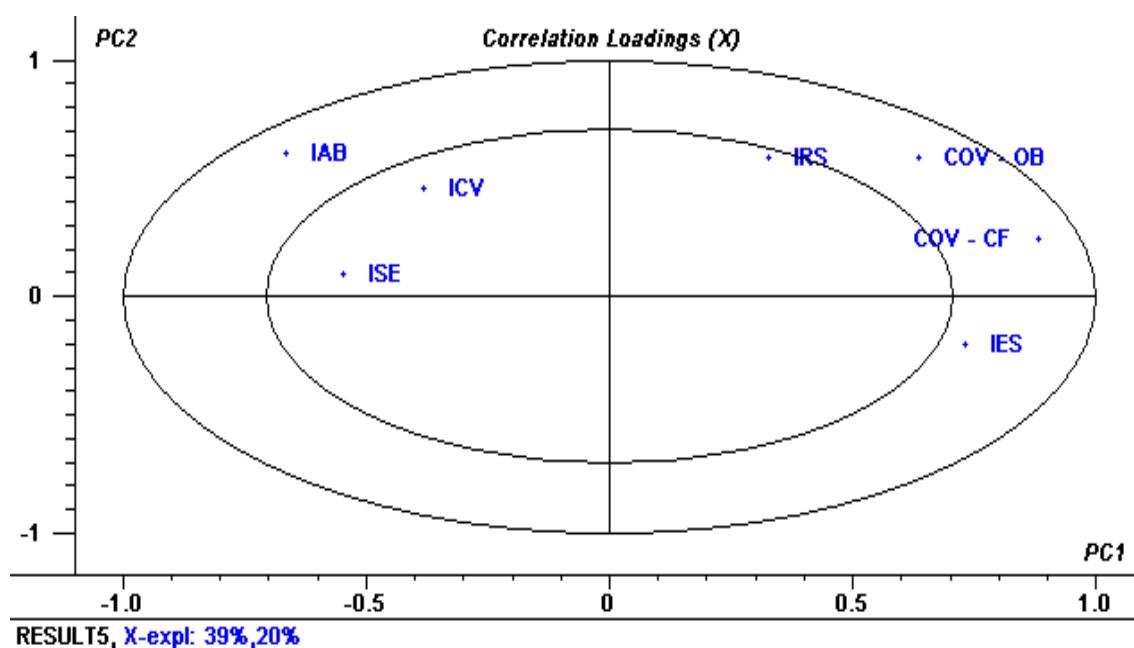
Este cenário foi constatado no Nova Pau dos Ferros que obteve melhor atendimento de rede água ($I_{AB} = 0,39$), entre os bairros de Pau dos Ferros e a melhor condição socioeconômica da cidade ($I_{SE} = 0,78$); ao mesmo tempo que, apresentou a pior situação de esgotamento sanitário ($I_{ES} = 0,00$), menor número de episódios positivos para o SARS-Cov-2 (19 casos) e nenhum óbito.

Tais correlações evidenciam a heterogeneidade da pandemia nas diversas localidades e o quanto que a compreensão do comportamento da COVID-19 depende diretamente do entendimento dos fatores intervenientes que incidem em determinado contexto, naquele lugar e espaço temporal (COSTA DE ASSIS et al., 2021; HALLAL et al., 2020).

Na PC2, foi constatada correlação positiva entre os indicadores I_{AB} , I_{RS} e COV – O, isto é, bairros mais bem servidos com rede de água tratada e de coleta de resíduos sólidos, também apresentaram maior ocorrência de óbitos (Figura 18).

Este contexto foi notado em todos os bairros de Pau dos Ferros que registraram mortes por COVID-19 (exceto o Nações Unidas): Centro (33,33%); São Judas Tadeu (22,22%), Riacho do Meio (16,67%), João XXIII (11,11%), Chico Cajá (5,56%) e São Benedito (5,56%), e que também foram considerados salubres quanto à cobertura de água (valor médio de $0,96 \pm 0,13$) e tiveram 100% de atendimento no recolhimento dos resíduos sólidos ($I_{CR} = 1,00$).

Figura 18 – Mapa perceptual da ordenação dos vetores das variáveis I_{AB} , I_{ES} , I_{SE} , $COV - C$ e $COV - O$ (PC1) e I_{AB} , I_{RS} e $COV - O$ (PC2)



Fonte: A autora (2022).

4.4.2.3 Correlação ISA, COVID -19, e escolaridade e renda

As três primeiras componentes principais (PC1, PC2 e PC3) explicam 73.124% do conjunto de dados (Tabela 19). No entanto, como a pesquisa destina-se, analisar a correlação dos indicadores ISA e COVID-19, foi incluída também a PC4, haja vista que esta explica o indicador ISA.

Tabela 19 – Variância explicada e total das componentes principais

Continua

Componentes principais	Variância explicada (%)	Variância acumulada (%)
1	42.638	42.638
2	16.366	59.004
3	14.120	73.124
4	8.684	81.808
5	5,662	87.470
6	4.039	91.509
7	2.823	94.332
8	2.011	96.343
9	1.424	97.767

Tabela 19 – Variância explicada e total das componentes principais

Componentes principais	Variância explicada (%)	Conclusão
		Variância acumulada (%)
10	1.202	98.969
11	0,739	99.708
12	0.292	100.000

Fonte: A autora (2022).

A questão da renda é amplamente associada às condições de saúde e saneamento (ROSS et al., 2021; ZAVALA et al., 2021; ANTWI-AGYEI et al., 2020; PRÜSS-USTÜN et al., 2019; NOVOTNÝ, HASMAN e LEPIČ, 2018; WOLF et al., 2014), como também à pandemia ocasionada pela COVID-19 (MINGOTI, BLANFORD e ANTHONJ, 2022; DONDE et al., 2021; EGGER et al., 2021; MOBARAK et al., 2022).

Os resultados da análise de componentes principais, no conjunto de dados analisado, quando equiparados com a realidade da pesquisa nos bairros, mostram a influência de dois indicadores socioeconômicos: a escolaridade e a renda. E, portanto, a correlação desses fatores foi também estudada.

As PC1 e PC2 carregam a maior parte da informação dos dados, dos indicadores de escolaridade e de renda, dos bairros examinados. Por outro lado, a PC3 explica os indicadores de COVID-19, e a PC4, o ISA (Tabela 20).

Tabela 20 – Autovetores das PC1, PC2, PC3 e PC4

Indicadores	Componentes Principais			
	1	2	3	4
ISA	-0.103	0.249	0.252	0.861
COV – C	0.232	0.218	0.855	-0.151
COV – O	0.222	0.505	0.717	-0.236
EAN	-0.678	0.326	-0.340	-0.317
EAL	-0.742	0.344	0.059	0.279
EFD	-0.721	-0.509	0.358	-0.072
EMD	0.526	0.732	-0.226	-0.029
ESP	0.856	-0.285	0.089	0.086
EPG	0.655	-0.361	-0.194	0.265
RMSM	-0.810	-0.103	-0.183	-0.058
R1SM	-0.912	0.004	0.221	0.118
R2SM	0.441	0.667	-0.317	0.018
R3SM	0.902	-0.298	0.112	-0.056

Legenda: ISA = Indicador de Salubridade Ambiental; COV – C = Casos confirmados de COVID-19; COV – O = Óbitos por COVID-19; EAN = Grau de escolaridade analfabeto; EAL = Grau de escolaridade alfabetizado; EFD = Grau de escolaridade fundamental; EMD = Grau de escolaridade médio; ESP = Grau de escolaridade superior; EPG = Grau de escolaridade pós-graduação; RMSM = Renda menor que um salário mínimo; R1SM = Renda de um salário mínimo; R2SM = Renda de um a dois salários mínimos; R3SM = Renda maior que três salários mínimos.

Fonte: A autora (2022).

Verificou-se, na PC1, forte padrão de correlação positiva entre os indicadores de renda e escolaridade nos bairros de Pau dos Ferros. A associação entre EAN, EAL, EFD e RMSM, R1SM indica que quanto menor a escolaridade (de sem alfabetização até o ensino fundamental), menor era a renda da população (abaixo de um salário mínimo até um salário mínimo).

A correlação entre situação socioeconômica de pobreza e menores níveis de escolaridade também foi observada na Índia (SAHOO e ACHARYA, 2019) e no uso de um modelo capaz de provar que a condição de pobreza, acima de qualquer outra variável estatística distributiva, é o fator mais importante na previsão de resultados de desenvolvimento como a escolaridade (DUTT e TSETLIN, 2020).

Esta contundente relação foi igualmente identificada em 20% dos bairros de Pau dos Ferros, foram eles Manoel Domingos, Manoel Deodato, São Geraldo e Paraíso que tiveram, respectivamente, 84%, 84%, 73% e 71% dos moradores com renda de até um salário mínimo; e 76%, 76%, 62% e 65% dos residentes com nível de escolaridade de analfabetos até o ensino fundamental. O elo entre menor renda e analfabetismo já se mostrou bem estabelecido em pesquisas realizadas no Brasil e em outras localidades do mundo.

Um estudo desenvolvido em 36 bairros da capital do Rio Grande do Norte, Natal, concluiu que a baixa renda domiciliar *per capita* e baixa escolaridade repercutiu em piores condições de existência, como menor estimativa de vida e maior taxa de mortalidade (MATA e COSTA, 2020). Os aspectos socioeconômicos, como baixa renda e menor grau de escolaridade, também são, uma combinação que propicia a perda de anos de vida por maior probabilidade de contrair doenças infecciosas (GBD, 2017).

O inverso também foi constatado pelo modelo, por meio da forte correlação positiva entre EMD, ESP e EPG e R3SM, que sugere que quanto maior a escolaridade dos moradores (do ensino médio até a pós-graduação), maior a renda (superior a três salários mínimos). Situação novamente verificada em 20% dos bairros de Pau dos Ferros,

foram eles: Nações Unidas, Zeca Pedro, Princesinha e Aluizio Diógenes que apresentaram, respectivamente, 57%, 57%, 42% e 31% dos domiciliados com renda maior que três salários mínimos; e 81%, 81%, 72% e 82% dos habitantes com escolaridade do ensino médio até o nível de pós-graduação.

Da mesma forma, tal relação também foi vista, em uma pesquisa que investigou o impacto da escolaridade sobre a distribuição de renda em estados e regiões do Brasil. O estudo apontou que entre 12% e 36% da renda é esclarecida pela escolaridade e que quanto mais elevada é a renda, maior é a contribuição da escolaridade; isso evidencia que a proporcionalidade de renda e de escolaridade são fortemente correlacionadas (SALVATO, FERREIRA e DUARTE, 20210), e alto padrão socioeconômico tem melhor impacto sobre a saúde individual (VINCENS, EMMELIN e STAFSTRÖM, 2018).

Por meio da PC2, há a explicação do restante dos dados de escolaridade e renda mediante a identificação de forte correlação positiva entre i) COV-O, EMD e R2SM; e negativa entre ii) EFD com COV-O, EMD e R2SM. A relação positiva, vista fortemente, entre COV-O, EMD e R2SM revela que os óbitos por COVID-19 estavam associados a pessoas com nível médio de escolaridade e renda de um a dois salários mínimos.

Uma pesquisa feita no estado do Pará comprovou que a COVID-19 está entre os mais pobres (classes sociais C, D e E) e entre os menos escolarizados (nível de escolarização que varia do ensino fundamental incompleto até o ensino médio) (UEPA, SESPA e GOVERNO DO PARÁ, 2020).

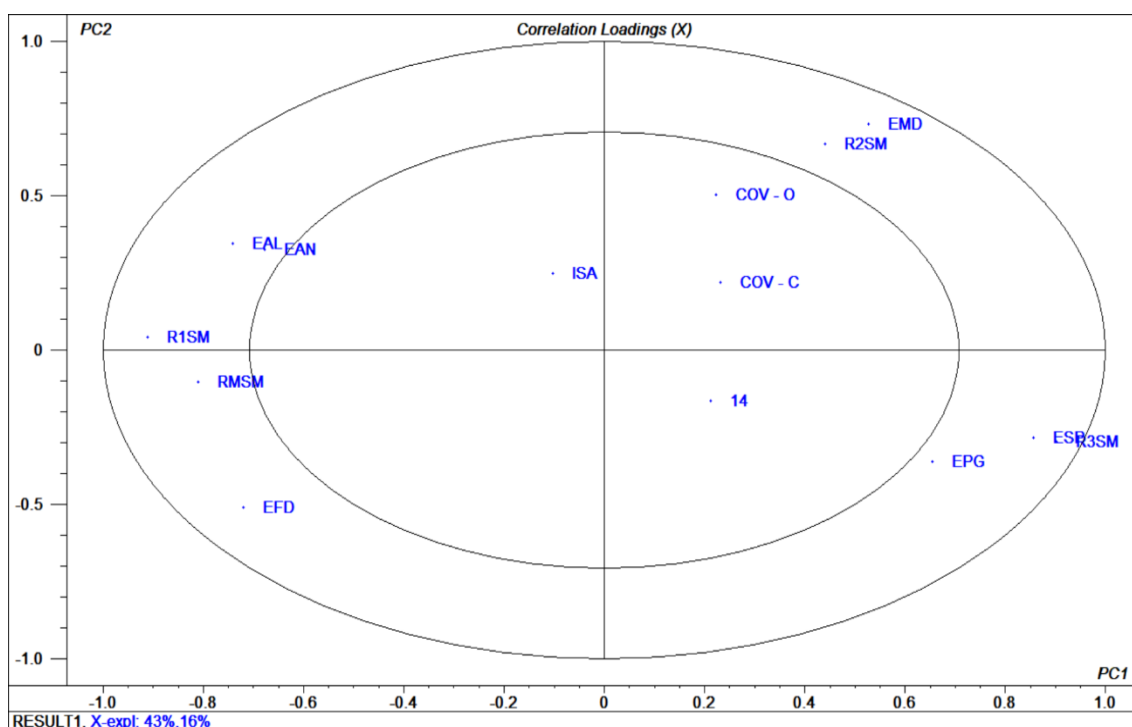
Esta condição foi confirmada, em todos os bairros de Pau dos Ferros, que registraram óbitos pelo SARS-Cov-2: Centro (COV-O = 33,33%, EMD = 52% e R2SM = 62%), São Judas Tadeu (COV-O = 22,22%, EMD = 34% e R2SM = 75%), Riacho do Meio (COV-O = 16,67%, EMD = 29% e R2SM = 76%), João XXIII (COV-O = 11,11%, EMD = 39% e R2SM = 73%), Chico Cajá (COV-O = 5,56%, EMD = 49% e R2SM = 76%), Nações Unidas (COV-O = 5,56%, EMD = 38% e R2SM = 38%), São Benedito (COV-O = 5,56%, EMD = 33% e R2SM = 67%).

Os resultados revelam que, a classe e a escolaridade moldaram uma distribuição muito desigual de riscos para a transmissão e a mortalidade. Esses grupos assumem a vanguarda, pois tendem a ser os mesmos grupos que suportam o peso de ser a força de trabalho que corre maior risco de contrair o vírus através de seus empregos, muitas vezes, informais, cujas atividades são realizadas fora de casa, o que intensifica o contato interpessoal (UEPA, SESPA e GOVERNO DO PARÁ, 2020).

Já a forte associação negativa entre EFD com COV – O, EMD e R2SM, sugere que os bairros que tinham população com escolaridade de nível fundamental, apresentaram quantitativo de óbitos por COVID-19 e renda menores, quando equiparados aos bairros em que a população possuía nível médio de escolaridade, renda de um a dois salários mínimos.

A partir da Figura 19 é possível perceber que todos os indicadores, com exceção do ISA e dos da COVID-19, foram bem explicados nas duas primeiras componentes principais.

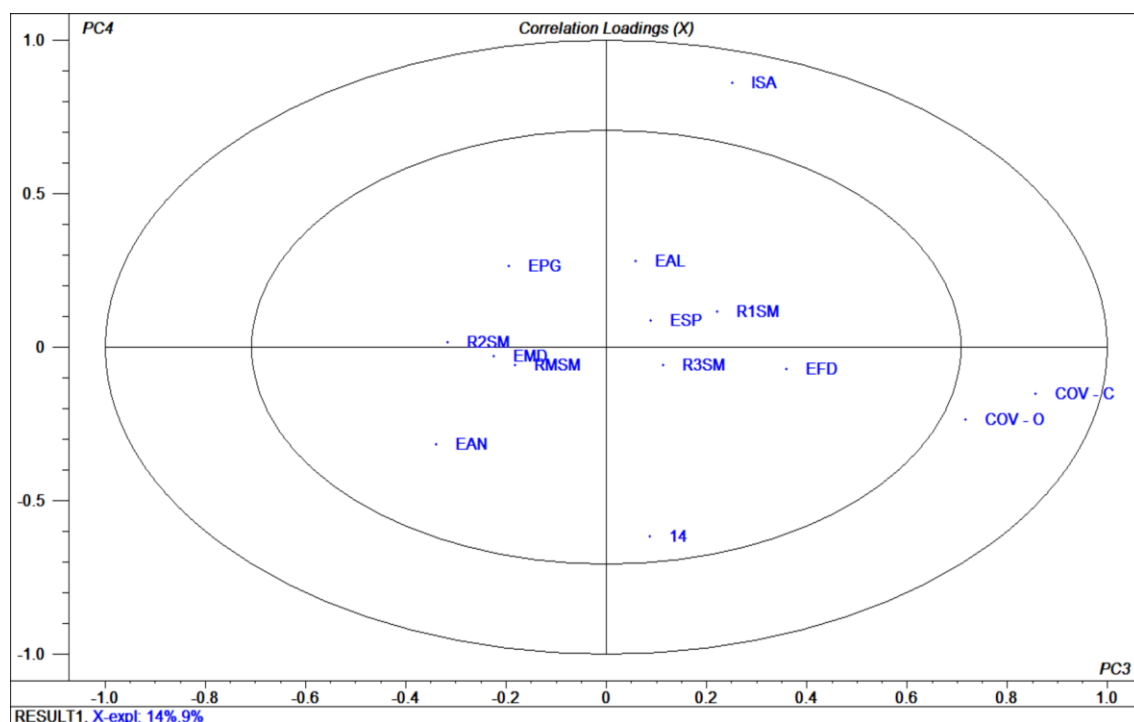
Figura 19 – Mapa perceptual da ordenação dos vetores das variáveis EAN, EAL, EMD, ESP, EPG RMSM, R1SM e R3SM



Fonte: A autora (2022).

Por outro lado, a PC3 explicou bem os indicadores de COVID-19 e a PC4, o ISA (Figura 20).

Figura 20 – Mapa perceptual da ordenação dos vetores das variáveis da COVID-19 e do ISA



Fonte: A autora (2022).

Considerando as PC3 e PC4, que juntas explicam os dados do ISA e de COVID-19, foram verificados quatro padrões de correlação das variáveis nos bairros analisados.

Os achados desta pesquisa, a partir da categorização do ISA, mostraram que 90% dos bairros foram classificados como de baixa salubridade, e 10%, como insalubres. Entretanto, mesmo que nenhum dos bairros tenha apresentado média salubridade ou salubridade, um ranqueamento foi realizado, para auxiliar a compreensão do agrupamento dos bairros, em função da proximidade de pontuação do ISA e explicar os quatro padrões de correlação das variáveis nos bairros analisados (Tabela 21)

Tabela 21 – Ranqueamento e agrupamento dos bairros em função da proximidade de pontuação do ISA

Bairro	Posição	ISA	Grupo	Característica
Manoel Domingos	1º	0,36	Padrão 1	Bairros melhores ranqueados quanto ao ISA.
Centro	2º	0,34		Alto índice de COVID-19.
Princesinha	3º	0,34		Predominância de população alfabetizada frente a não alfabetizada.
Alto do Açude	4º	0,33		Renda média de um salário mínimo. Escolaridade média de ensino médio.
João XXIII	5º	0,33		
São Judas Tadeu	6º	0,33		
Frei Damião	7º	0,32		
Paraíso	9º	0,31		
Aluísio Diógenes	8º	0,31	Padrão 2	Bairros melhores ranqueados quanto ao ISA.
Domingos Gameleira	10º	0,30		Baixo índice de COVID-19.
	11º	0,30		Predominância de população alfabetizada frente a não alfabetizada.
Nova Pau dos Ferros				Renda média de um a dois salários mínimos. Escolaridade média de ensino médio.
São Vicente de Paula	12º	0,30	Padrão 3	Bairros piores ranqueados quanto ao ISA.
Chico Cajá	13º	0,29		Baixo índice de COVID-19.
São Geraldo	14º	0,29		Predominância de população analfabeta frente a alfabetizada.
Zeca Pedro	17º	0,27		Renda média de um a dois salários mínimos.
	18º			
Bela Vista		0,26	Padrão 4	Escolaridade média de ensino médio.
São Benedito	15º	0,28		Bairros piores ranqueados quanto ao ISA.
Manoel Deodato	16º	0,27		Alto índice de COVID-19.
Nações Unidas	19º	0,25		Predominância de população analfabeta frente à alfabetizada.
	20º			Renda média de um salário mínimo. Escolaridade média de ensino fundamental.
Riacho do Meio				
		0,23		

Fonte: A autora (2022).

O padrão 1 (referente ao 1º quadrante) é composto por bairros com melhor posicionamento quanto à pontuação de salubridade e altos índices de casos confirmados de COVID-19 (Tabela 22).

Tabela 22 – Bairros de Pau dos Ferros, padrão 1

P	B	ISA	COV – C	COV – O	EAN	EAL	EFD	EMD	ESP	EPG	RMSM	R1SM	R2SM	R3SM
4º	ADA	0,33	107	0	0,05	0,16	0,39	0,27	0,10	0,02	0,13	0,42	0,30	0,14
2º	CEN	0,34	358	6	0,01	0,11	0,10	0,52	0,25	0,00	0,06	0,33	0,29	0,33
7º	FRD	0,32	68	0	0,08	0,12	0,38	0,28	0,14	0,00	0,08	0,56	0,26	0,10
5º	JXX	0,33	181	2	0,11	0,15	0,25	0,39	0,10	0,01	0,17	0,40	0,33	0,11
1º	MDO	0,36	46	0	0,20	0,11	0,45	0,23	0,01	0,00	0,31	0,53	0,15	0,01
9º	PAR	0,31	118	0	0,08	0,16	0,42	0,29	0,06	0,00	0,28	0,45	0,15	0,13
3º	PCE	0,34	224	0	0,02	0,11	0,15	0,36	0,29	0,07	0,05	0,23	0,30	0,42
6º	SJT	0,33	286	4	0,06	0,10	0,37	0,34	0,11	0,03	0,07	0,40	0,35	0,18

Legenda: P = Posição em função da pontuação do ISA; B = Bairro; ADA = Alto do Açude; CEN = Centro; FRD = Frei Damião; JXX = João XXIII; MDO = Manoel Deodato; PAR = Paraíso; PCE = Princesinha; SJT = São Judas Tadeu; ISA = Indicador de Salubridade Ambiental; COV – C = Casos confirmados de COVID-19; COV – O = Óbitos por COVID-19; EAN = Grau de escolaridade analfabeto; EAL = Grau de escolaridade alfabetizado; EFD = Grau de escolaridade fundamental; EMD = Grau de escolaridade médio; ESP = Grau de escolaridade superior; EPG = Grau de escolaridade pós-graduação; RMSM = Renda menor que um salário mínimo; R1SM = Renda de um salário mínimo; R2SM = Renda de um a dois salários mínimos; R3SM = Renda maior que três salários mínimos.

Fonte: A autora (2022).

O grupo de bairros do padrão 1 incluiu 40% dos bairros que apresentaram maior valor ($0,33 \pm 0,02$) do ISA e elevada quantidade de notificações positivas para COVID-19 ($173,50 \pm 109,67$); e é constituído pelo Alto do Açude, Centro, Frei Damião, João XXIII, Manoel Deodato, Paraíso, Princesinha, São Judas Tadeu. Nota-se uma predominância de população alfabetizada frente a não alfabetizada.

O padrão 2 (referente ao 2º quadrante) é constituído pelos bairros com melhor posicionamento quanto à pontuação de salubridade e baixos índices de casos confirmados de COVID-19 (Tabela 23).

Tabela 23 – Bairros de Pau dos Ferros, padrão 2

P	Bairro	ISA	COV – C	COV – O	EAN	EAL	EFD	EMD	ESP	EPG	RMSM	R1SM	R2SM	R3SM
8º	ALD	0,31	52	0	0,00	0,05	0,13	0,38	0,23	0,21	0,05	0,26	0,38	0,31
10º	DOG	0,30	59	0	0,10	0,16	0,21	0,39	0,08	0,05	0,10	0,38	0,39	0,13
11º	NPF	0,30	19	0	0,05	0,15	0,20	0,35	0,25	0,00	0,30	0,35	0,35	0,00

Legenda: P = Posição em função da pontuação do ISA; B = Bairro; ALD = Aluizio Diógenes; DOG = Domingos Gameleira; NPF = Nova Pau dos Ferros; ISA = Indicador de Salubridade Ambiental; COV – C = Casos confirmados de COVID-19; COV – O = Óbitos por COVID-19; EAN = Grau de escolaridade analfabeto; EAL = Grau de escolaridade alfabetizado; EFD = Grau de escolaridade fundamental; EMD =

Grau de escolaridade médio; ESP = Grau de escolaridade superior; EPG = Grau de escolaridade pós-graduação; RMSM = Renda menor que um salário mínimo; R1SM = Renda de um salário mínimo; R2SM = Renda de um a dois salários mínimos; R3SM = Renda maior que três salários mínimos.

Fonte: A autora (2022).

O grupo de bairros do padrão 2 incluiu 15% dos bairros que apresentaram maior valor do ISA ($0,31 \pm 0,01$) dentro da categoria e menor quantidade de notificações positivas para COVID-19 ($43,33 \pm 21,36$); e é constituído pelo Aluizio Diógenes, Domingos Gameleira e Nova Pau dos Ferros. Nota-se uma predominância de população alfabetizada frente a não alfabetizada.

O padrão 3 (referente ao 3º quadrante) é formado pelos bairros com pior posicionamento quanto à pontuação de salubridade e baixos índices de casos confirmados de COVID-19 (Tabela 24).

Tabela 24 – Bairros de Pau dos Ferros, padrão 3

P	Bairro	ISA	COV – C	COV – O	EAN	EAL	EFD	EMD	ESP	EPG	RMSM	R1SM	R2SM	R3SM
18º	BEV	0,26	47	0	0,05	0,11	0,36	0,27	0,15	0,05	0,15	0,36	0,25	0,24
13º	CHC	0,29	60	1	0,25	0,08	0,08	0,49	0,11	0,00	0,04	0,30	0,46	0,20
14º	SGE	0,29	60	0	0,19	0,15	0,29	0,31	0,07	0,00	0,30	0,42	0,24	0,04
12º	SVP	0,30	50	0	0,15	0,12	0,12	0,61	0,00	0,00	0,24	0,30	0,39	0,06
17º	ZCP	0,27	39	0	0,00	0,00	0,19	0,38	0,36	0,07	0,05	0,12	0,26	0,57

Legenda: P = Posição em função da pontuação do ISA; B = Bairro; BEV = Bela Vista; CHC = Chico Cajá; SGE = São Geraldo; SVP = São Vicente de Paula; ZCP = Zeca Pedro; ISA = Indicador de Salubridade Ambiental; COV – C = Casos confirmados de COVID-19; COV – O = Óbitos por COVID-19; EAN = Grau de escolaridade analfabeto; EAL = Grau de escolaridade alfabetizado; EFD = Grau de escolaridade fundamental; EMD = Grau de escolaridade médio; ESP = Grau de escolaridade superior; EPG = Grau de escolaridade pós-graduação; RMSM = Renda menor que um salário mínimo; R1SM = Renda de um salário mínimo; R2SM = Renda de um a dois salários mínimos; R3SM = Renda maior que três salários mínimos.

Fonte: A autora (2022).

O grupo de bairros do padrão 3 incluiu 25% dos bairros que apresentaram menor valor do ISA ($0,28 \pm 0,01$) dentro da categoria e baixa quantidade de notificações positivas para COVID-19 ($51,20 \pm 8,98$); e é constituído pelo Bela Vista, Chico Cajá, São Geraldo, São Vicente de Paula e Zeca Pedro. Percebe-se uma predominância de população alfabetizada frente a não alfabetizada. O padrão 4 (referente ao 4º quadrante) consiste nos grupos de bairros com pior posicionamento quanto à pontuação de salubridade e altos índices de casos confirmados de COVID-19 (Tabela 25).

Tabela 25 – Bairros de Pau dos Ferros, padrão 4

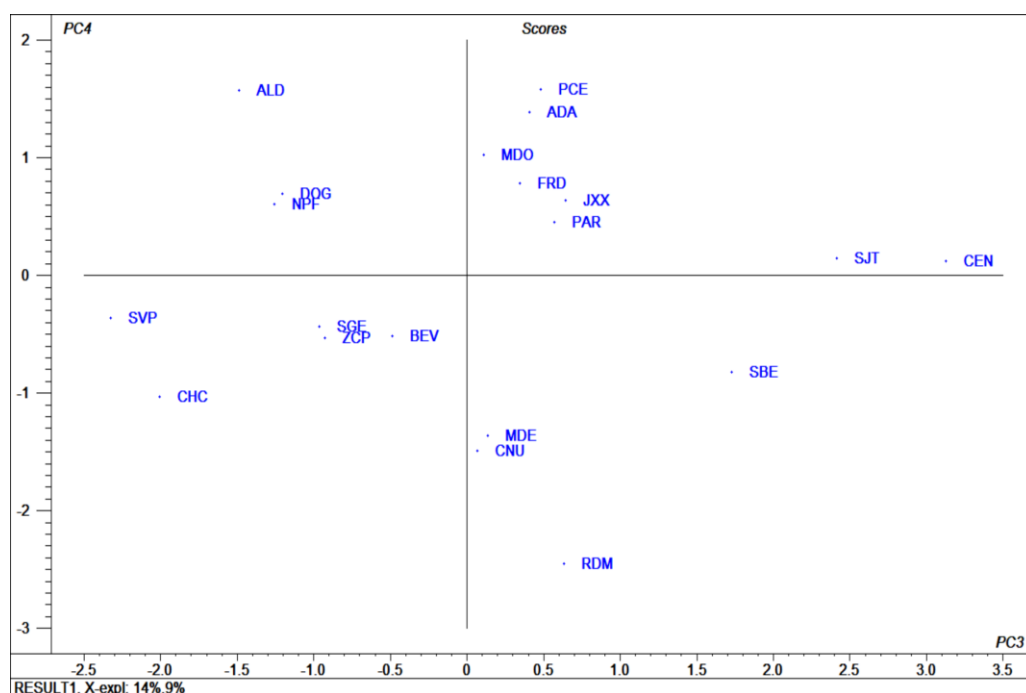
Posição	Bairro	ISA	COV – C	COV – O	EAN	EAL	EFD	EMD	ESP	EPG	RMSM	R1SM	R2SM	R3SM
19º	CNU	0,25	166	1	0,00	0,00	0,19	0,38	0,36	0,07	0,05	0,12	0,26	0,57
16º	MDE	0,27	138	0	0,20	0,11	0,45	0,23	0,01	0,00	0,31	0,53	0,15	0,01
20º	RDM	0,23	175	3	0,14	0,14	0,36	0,29	0,06	0,01	0,16	0,43	0,33	0,08
15º	SBE	0,28	385	1	0,04	0,07	0,37	0,33	0,15	0,04	0,12	0,34	0,33	0,21

Legenda: P = Posição em função da pontuação do ISA; B = Bairro; CNU = Conjunto Nações Unidas; MDE = Manoel Deodato; RDM = Riacho do Meio; SBE = São Benedito; ISA = Indicador de Salubridade Ambiental; COV – C = Casos confirmados de COVID-19; COV – O = Óbitos por COVID-19; EAN = Grau de escolaridade analfabeto; EAL = Grau de escolaridade alfabetizado; EFD = Grau de escolaridade fundamental; EMD = Grau de escolaridade médio; ESP = Grau de escolaridade superior; EPG = Grau de escolaridade pós-graduação; RMSM = Renda menor que um salário mínimo; R1SM = Renda de um salário mínimo; R2SM = Renda de um a dois salários mínimos; R3SM = Renda maior que três salários mínimos.

Fonte: A autora (2022).

O grupo de bairros do padrão 4 incluiu 20% dos bairros que apresentaram menor valor do ISA ($0,33 \pm 0,02$) dentro da categoria de baixa salubridade e elevada quantidade de notificações positivas para COVID-19 ($216,00 \pm 113,76$); e é constituído pelo Conjunto Nações Unidas, Manoel Deodato, Riacho do Meio e São Benedito. Nota-se uma predominância de população analfabeta frente a alfabetizada (Figura 21).

Figura 21 – Distribuição dos bairros de Pau dos Ferros no 1º, 2º, 3º e 4º quadrantes



Fonte: A autora (2022).

A PCA auxiliou na explicação das variáveis e seus achados mostraram que não foi identificada correlação entre a salubridade ambiental e a ocorrência de notificações de COVID-19. Este resultado pode denotar que devido a heterogeneidade dos dados, essa relação é influenciada por uma série de fatores intervenientes que estão presentes nas condições ambientais de cada bairro analisado. Ou seja, é o somatório das informações e sua capacidade de interferência sobre a higidez ambiental que é capaz de explicar o comportamento da pandemia em cada bairro e sua relação com a salubridade local.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta tese abordou quatro questões (a revisão sistemática sobre o uso de indicadores de saneamento e saúde em países emergentes; a revisão da literatura sobre a utilização do ISA no Brasil; a aplicação do ISA nos bairros da área urbana de Pau dos Ferros; e a relação da salubridade ambiental desses bairros com a ocorrência da COVID-19) que culminaram nas seguintes conclusões.

A partir dos achados da revisão sistemática, em relação aos indicadores de saúde, saneamento e salubridade ambiental, 68% dos artigos concentraram-se nas Américas, 24% em mais de um continente, 4% na África e 4% na Ásia. Os indicadores foram apontados como uma métrica eficaz para: diagnóstico do saneamento local (48%), tomada de decisão (48%), políticas públicas para priorização de investimentos na área sanitária (40%), planejamento urbano (36%), sensibilidade para retratar a realidade (28%) e instrumento de fácil uso (28%).

Em complemento, verificou-se que o Indicador de Salubridade Ambiental já foi aplicado em 86 lugares diferentes no Brasil, que resultou em 103 publicações sobre o tema, do ano de 1999 a 2022. A região Nordeste concentrou o maior número de usos do ISA (34,9%), tendo 30 locais com sua salubridade ambiental determinada. Enquanto que, a região Norte apresentou o menor volume de aplicações do indicador, que contemplou três localidades (3,5%).

Quanto à salubridade ambiental, os 20 bairros de Pau dos Ferros que foram avaliados apresentaram níveis baixos e insalubres. A pontuação média do ISA do município de Pau dos Ferros foi $0,30 \pm 0,03$, que o categorizou como de baixa salubridade e teve o pior ISA entre as aplicações no semiárido brasileiro.

Os resultados indicaram que a intermitência no abastecimento de água, o colapso hídrico da barragem local, a rede deficitária de coleta e tratamento de esgotos e a presença

de um vazadouro a céu aberto para disposição dos resíduos sólidos foram a causa de nenhum dos bairros avaliados ter sido considerado salubre ou com média salubridade.

O que evidencia que os problemas de saneamento local estão maiormente concentrados em questões que abrangem todo o município e não isoladamente em um ou mais bairros. Embora, tenha sido constatado que os bairros com renda e escolaridade baixas apresentaram menor cobertura do saneamento básico.

Deste modo, concluiu-se que o cálculo do ISA foi de grande relevância para a análise do nível salubridade ambiental, bem como da carência de serviços públicos de saneamento básico nos bairros do município estudado. A partir dos resultados desta pesquisa, o poder público local terá acesso a um banco de dados inédito com informações da situação de salubridade ambiental em cada bairro da área urbana do município.

Com isso, é possível verificar quais as localidades que apresentam maior vulnerabilidade quanto ao abastecimento de água, esgotamento sanitário, resíduos sólidos, controle de vetores e situação socioeconômica e assim, direcionar e otimizar o emprego dos recursos públicos enfocando na necessidade de cada bairro, que se distinguem entre si, aumentando a eficiência do uso do dinheiro público e direcionando para os setores da salubridade mais precários em cada um dos bairros.

Os resultados deste estudo, ainda que não tenham sido exaustivos ante a relação avaliada, também confirmaram a importância da salubridade ambiental, particularmente, pelo acesso ao saneamento básico, como uma medida profilática preponderante para conter a disseminação do SARS-CoV-2. Entretanto, este não deve ser o único fator a ser analisado na ocorrência de casos e óbitos por COVID-19.

Quanto à associação dos indicadores de COVID-19 com o ISA, a Análise de Componentes Principais não estabeleceu padrões de correlação positiva nem negativa, com base no conjunto de dados analisado. Isoladamente, os dois indicadores foram bem explicados em duas componentes principais.

Todos os bairros apresentaram taxa de letalidade para COVID-19 abaixo da média nacional. A implementação precoce de medidas sanitárias e sociais restritivas; a influência de variáveis meteorológicas como clima, temperatura, incidência solar, densidade demográfica e socioeconômicas, a citar a faixa etária da população, composta predominantemente por jovens e jovens adultos, a ausência de transporte público na cidade e a própria subnotificação da doença podem ter atenuado os efeitos da pandemia em Pau dos Ferros.

Ainda que de forma limitada, os resultados e informações, desta pesquisa, contribuíram para explicar o padrão de disseminação da COVID-19 em Pau dos Ferros. No entanto, a continuidade no monitoramento e mais estudos são recomendados para melhor entender as causas locais da propagação da doença.

Compreender o comportamento pandêmico em uma região com limitações peculiares como a semiárida, se mostra uma importante ferramenta não só para o controle da transmissão, mas também para prevenção do surgimento de novas enfermidades e futuras pandemias. Os achados desta pesquisa são potencialmente uma forma valiosa de evidência para a política do governo local e tomadores de decisão.

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Determinar o ISA para localidades dos estados do semiárido ainda não estudadas, a citar, Piauí, Alagoas e Minas Gerais.
- Ampliar a análise de notificações de COVID-19, para o período de 29 de maio de 2021 a 28 de junho de 2022, de modo a compreender o padrão do segundo ano de pandemia, em Pau dos Ferros.
- Estender a avaliação da salubridade ambiental e sua relação com a COVID-19 para a microrregião de Pau dos Ferros, a fim de verificar como se dá essa associação, nos municípios circunvizinhos.
- Reaplicar anualmente o ISA, conforme preconiza o Conesan, de modo a acompanhar a melhoria ou piora da salubridade ambiental em cada bairro de Pau dos Ferros e assim direcionar as medidas de intervenção por meio dos investimentos públicos.

REFERÊNCIAS

- ABRANTES, C. G. F. **Diagnóstico do sistema de abastecimento de água pela percepção do usuário na cidade de Pau dos Ferros/RN**. 2018. 66 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Centro Multidisciplinar de Pau dos Ferros, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2018.
- ABU, T. Z.; ELLIOTT, S. J. When It Is not measured, how then will it be planned for? WaSH a critical indicator for universal health coverage in Kenya. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.17, n.16, p.5746, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17165746>
- ABUBAKAR, I. R. Understanding the socioeconomic and environmental indicators of household water treatment in Nigeria. **Utilities Policy**, v.70, 101209, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101209>
- AGUS, F.; RAMADIANI, R.; AZHARI, M.; AW, S.; SILALAH, W.; ARMANDA, A.; KUSNANDAR, K. The Geographic Information System development for selection of green open space in urban densely area. **Journal Infotel**, v.10, n.3, p.125-129, 2018. <https://doi.org/10.20895/infotel.v10i3.377>
- ALAGIDEDE, P.; ALAGIDEDE, A. N. The public health effects of water and sanitation in selected West African countries. **Public Health**, v.130, p.59-63, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2015.07.037>
- ALBUQUERQUE, M. V de.; RIBEIRO, L. H. L. Desigualdade, situação geográfica e sentidos da ação na pandemia da COVID-19 no Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v.36, n.12, e00208720, 2020. <https://doi.org/10.1590/0102-311X00208720>
- ALBUQUERQUE, M.M. (2013) **Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) como instrumento de análise da salubridade do ambiente da comunidade de Saramém em Brejo Grande (SE)**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Sergipe, São Cristóvão.
- ALI, S. I.; SYED SAADALI, S.; FESSELET, J. Evidence-based chlorination targets for household water safety in humanitarian settings: Recommendations from a multi-site study in refugee camps in South Sudan, Jordan, and Rwanda. **Water Research**, v. 189, 116642, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116642>
- ALMEIDA, E. L. S. **Índice de salubridade ambiental em áreas de interesse social: análise direcionada ao Conjunto Habitacional Eldorado, Natal/RN**. 2021. 82 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.
- ALMEIDA, L. S.; COTA, A. L. S.; RODRIGUES, D. F. Saneamento, arboviroses e determinantes ambientais de doenças: impactos na saúde urbana. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.25, n.10, 2020. <https://doi.org/10.1590/1413-812320202510.30712018>
- ALMEIDA, M.A.P. (1999) **Indicadores de Salubridade Ambiental em favelas urbanizadas: o caso de favelas em áreas de proteção ambiental**. 243 f. Tese

(Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

AMBROSO, F.B. (2014) **Aplicação do Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) no município de Araranguá**. 97 f. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

AMROSE, S.E.; CHERUKUMILLI, K.; WRIGHT, N.C. **Chemical contamination of drinking water in resource-constrained settings: global prevalence and piloted mitigation strategies**. Annual Review of Environment and Resources, v.45, p.195-226, 2020. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-105152>

ANANTH, M.; RAJESH, R.; AMJITH, R.; ACHU, A. L.; VALAMPARAMPIL, M. J.; HARIKRISHNAN, M.; RESMI, M. S.; SREEKANTH, K. B.; SARA, V.; SETHULEKSHMI, S.; PRASANNAKUMAR, V.; DEEPTHI, S. K.; JEMIN, A. J.; KRISHNA, D. S.; ANISH, T. S.; INSIJA, I. S.; NUJUM, Z. T. Contamination of household open wells in an urban area of trivandrum, Kerala state, India: a spatial analysis of health risk using Geographic Information System. **Environmental Health Insights**, v.12, n.1, p.1178630218806892, 2020. <https://doi.org/10.1177/1178630218806892>

ANASTASOPOULOU, A; KOLIOS, A.; SOMORIN, T.; SOWALE, A.; JIANG, Y.; FIDALGO, B.; PARKER, A.; WILLIAMS, L.; COLLINS, M.; MCADAM, E.; TYRREL S. Conceptual environmental impact assessment of a novel self-sustained sanitation system incorporating a quantitative microbial risk assessment approach. **Science of the Total Environment**, v.15, n.639, p.657-672, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.062>

ANDREAZZI, M. A. R.; BARCELLOS, C.; HACON, S. Velhos indicadores para novos problemas: a relação entre saneamento e saúde. **Revista Panamericana de Salud Pública**. v.22, n.3, p.211-217, 2007. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/7780>

AQUINO, E. M.; SILVEIRA, I. H.; PESCARINI, J. M.; AQUINO, R.; SOUZA-FILHO, J. A. Medidas de distanciamento social no controle da pandemia de COVID-19: potenciais impactos e desafios no Brasil. **Ciência e Saúde Coletiva**, v.25, n.1, p.2423-2446, 2020. <https://doi.org/10.1590/1413-81232020256.1.10502020>

ARAVÉCHIA JÚNIOR, J. C.; GUIMARÃES, M. R. W.; MAIA, E. R.; RÉQUIA JÚNIOR, W. J.; SANTOS, H. V. R. dos. A importância da salubridade ambiental e da energia para a população brasileira: uma relação pouco discutida. **Revista Brasileira de Energia**, v.19, n.1, p.117-125, 2013.

ARAVÉCHIA JÚNIOR, J.C. (2010) **Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) para a Região Centro-Oeste: Um estudo de caso no Estado de Goiás** 134 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) - Universidade Católica de Brasília, Brasília, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO – AESBE. **Caern executa ações para garantir água a todo o Estado do Rio Grande do Norte**. 2019. Disponível em: <https://aesbe.org.br/novo/caern-executa-acoes-para-garantir-agua-a-todo-o-estado-do-rio-grande-do-norte/> Acesso em: 25 mai. 2020.

AZEVEDO, J. (2006) **Ferramenta para análise de dados socioeconômicos e ambientais para definição de políticas públicas, estudo de caso: Bacia Ambiental do Rio Imboassú, município de São Gonçalo/RJ**. 200 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

BAGGIO, D.B. (2013) **Aplicação do Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) no município de Cocal do Sul – SC**. 132 f. Monografia (Curso de Engenharia Ambiental) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2013..

BAHIA, J.A. (2006) **A aplicação do Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) na determinação da vulnerabilidade dos recursos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do Rio Cachoeira - Sul da Bahia**. 89 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2006.

BAIN, R.; JOHNSTON, R.; KHAN, S.; HANCIOGLU, A.; SLAYMAKER, T. Monitoring Drinking Water Quality in Nationally Representative Household Surveys in Low- and Middle-Income Countries: Cross-Sectional Analysis of 27 Multiple Indicator Cluster Surveys 2014-2020. **Environmental Health Perspectives**, v.129, n.9, p.97010, 2021. <https://doi.org/10.1289/EHP8459>

BALASUBRAMANYA, S.; STIFEL, D.; MUZNA ALVI, M.; RINGLER, C. The role of social identity in improving access to water, sanitation and hygiene (WASH) and health services: Evidence from Nepal. **Brazilian Journal of Policy and Development**, v.40, e12588, 2022. <https://doi.org/10.1111/dpr.12588>

BASTOS, A.L.; GAMA, R.S.; CAVALCANTE, A.S.G.; GAMA, J.A.S. Adaptação e aplicação do Índice de Salubridade Ambiental (ISA) para o município de Marechal Deodoro/AL. In: **IX Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação**, 2014, São Luís.

BATISTA, M. E. M; SILVA, T. C. O modelo ISA/JP – indicador de performance para diagnóstico do saneamento ambiental urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.11, n.1, p.55-64, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522006000100008>

BERNARDES, C.; BERNARDES, R. C.; GÜNTHER, W. M. R. Proposta de índice de salubridade ambiental domiciliar para comunidades rurais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, n.4, p.697-706, 2018. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018141631>

BEZERRA, J. A. **A cidade e região de Pau dos Ferros: por uma geografia da distância em uma rede urbana interiorizada**. 430 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual do Ceará, Ceará, 2016.

BÍBLIA SAGRADA EDIÇÃO PASTORAL. **Salmo 39**. São Paulo: Paulus, 2014.

BILMAYER, A. F.; MEZZOMO, M. M.; GONÇALVES, M. S. Indicador de salubridade ambiental (ISA) como ferramenta para análise da qualidade ambiental urbana do município de Peabiru – PR. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v.9, n.3, p. 30-347, 2020. <https://doi.org/10.3895/rbpd.v9n3.9347>

BIOLCHINI, J.; MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C.; TRAVASSOS, G. H. **Systematic review in software engineering [Joint Technical Report]**. Reino Unido: Keele University. Technical Report ES 679: p.1-31, 2005.

BRAGA, D. de L.; BEZERRA, N. R.; SCALIZE, P. S. Proposição e aplicação de um índice de salubridade ambiental em aglomerados rurais. **Revista de Saúde Pública**, v.56, n.44, p.1-16, 2022. <https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2022056003548>

BRASIL. **Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2020. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm#:~:text=%E2%80%9CEstabelece%20as%20diretrizes%20nacionais%20para,Art](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm#:~:text=%E2%80%9CEstabelece%20as%20diretrizes%20nacionais%20para,Art. Acesso em: 20 set. 2021). Acesso em: 20 set. 2021.

_____. **Coronavírus Brasil**. Painel COVID-19. 2020. Disponível em: <https://covid.saude.gov.br/> Acesso em: 03 jul. 2021.

_____. **Decreto Nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022**. Regulamenta a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2022. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil03/Ato2019-2022/2022/Decreto/D10936.htm> Acesso em: 12 dez. 2019.

_____. **Instituto Nacional do Semiárido**. Semiárido Brasileiro. 2022. Disponível em: <http://www.gov.br/insa/pt-br/semiaridobrasileiro> Acesso em: 29 set. 2022.

_____. **Lei Federal Nº. 12.305 de 20 de dezembro de 2010**. Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm#art19 Acesso em: 11 jul. 2019.

_____. **Lei Federal Nº.11.445 de 05 de janeiro de 2007**. Lei do Saneamento Básico. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm . Acesso em: 03 mai. 2019.

BRAUER M., ZHAO J.T., BENNITT F.B., STANAWAY J.D. Global access to handwashing: Implications for COVID-19 control in low-income countries. **Environmental Health Perspectives**, v.128, n.5, 57005, 2020. <https://doi.org/10.1289/EHP7200>

BRITO, F. S. L.; PIMENTEL, B. A.; DUARTE, J. M.; RABELO, M. F.; GOMES, N. C. da R.; FERREIRA, R. da S.; BRAGA, R. L. Aplicação do indicador de salubridade ambiental (ISA) nos municípios de Belém e Ananindeua, região amazônica do estado do Pará - 2000 a 2017. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.3, p.283-298, 2021. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.003.0024>

BRUSTIN, P.; TISCHNER, A.; DIAS, L.; BARBADO, N.; REIS, A. Aplicação do índice de salubridade ambiental (ISA) para diagnóstico de áreas urbanas: um estudo dos municípios de Maringá-PR e Sarandi-PR. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v.9, n.especial, p.234-252, 2020. <https://doi.org/10.19177/rgsa.v9e0I2020234-252>

BUCKLEY, C.F.O. (2010) **Adaptação do Indicador de Salubridade Ambiental para análise de empreendimentos do Programa de Arrendamento Residencial em Aracaju - SE** 285 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010.

BUDGE, S.; AMBELU, A.; BARTRAM, J.; BROWN, J.; HUTCHINGS, B. Environmental sanitation and the evolution of water, sanitation and hygiene. **Bull World Health Organization**, v.100, n.4, p.286-288, 2022. <https://doi.org/10.2471/BLT.21.287137>

BÜHLER, H. F.; IGNOTTI, E.; NEVES, S. M. A. S; HACON, S. S. Análise espacial de indicadores integrados determinantes da mortalidade por diarreia aguda em crianças menores de 1 ano em regiões geográficas. **Ciência & Saúde Coletiva**. v.19, n.10, p.4131-4140, 2014. <https://doi.org/10.1590/1413-812320141910.09282014>

CABRAL, A.C. (2015) **Indicador de Salubridade Ambiental relacionado ao consumo de energia e água em municípios lindeiros e não lindeiros ao Lago de Itaipu da Bacia Hidrográfica do Paraná III** 69 f. Dissertação (Engenharia em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2015.

CABRAL, A.C.; FRIGO, E.P.; MARI JUNIOR, A.; MARI, A.G.; BASTOS, R.K.; CABRAL, C. (2013) Município de Céu Azul e Sua Salubridade Ambiental. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 4, p. 12-17. <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v2i3.33813>

CAERN – COMPANHIA DE ÁGUAS E ESGOTOS DO RIO GRANDE DO NORTE. **Relatório anual 2019 – qualidade da água**, Pau dos Ferros/RN. 2019.

CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; CAMARGO, R. A.; MOREIRA NETO, R. F. Estudo de indicadores de saúde ambiental e de saneamento em cidade do Norte do Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.14, n.1, p.19-28, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522009000100003>

CAMERON, A.; REEM, N.; JANA, E.; KAMIL, H.; GRACIELA, M.; THOMAS, W. Indicator-based assessments of progress towards the sustainable development goals (SDGs): a case study from the Arab region. **Sustainability Science**, v.12, n.6, p.975-989, 2017. <https://doi.org/10.1007/s11625-017-0437-1>

CAPODEFERRO, M. W.; SMIDERLE, J. J. The Brazilian sanitation sector's response to COVID-19. **Revista de Administração Pública**, v.54, n.4, p.1022-1036, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0034-761220200324x>.

CARNEIRO, F. F.; FRANCO NETTO, G.; CORVALAN, C.; FREITAS, C. M.; SALES, L. B. F. Saúde ambiental e desigualdades: construindo indicadores para o desenvolvimento sustentável. **Ciência & Saúde Coletiva**. v.17, n.6, p.1419-1425, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232012000600006>

CEARÁ. Secretaria de Saúde. **IntegraSUS: transparência da saúde do Ceará Fortaleza** [Internet]. 2020. Disponível em: <https://integrasus.saude.ce.gov.br/> Acesso em: 03 mai. 2019.

CHAKRABORTY, P.; VINOD, P. G.; SYED, J. H.; POKHREL, B.; BHARAT, G.; BASU, A. R.; FOUZDER, T.; PASUPULETI, M.; URBANIAK, M.; BESKOSKI, V. P. Water-sanitation-health nexus in the Indus-Ganga-Brahmaputra River Basin: need for wastewater surveillance of SARS-CoV-2 for preparedness during the future waves of pandemic. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v.22, n.2, p.283-294, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.11.001>.

CHERNICHARO, C. A. de L.; ARAÚJO, J. C.; MOTA FILHO, C. R.; BRESSANI-RIBEIRO, T.; CHAMHUM-SILVA, L.; LEAL, C. D.; LEROY, D. F.; MACHADO, E. C.; CORDERO, M. F. S.; AZEVEDO, L.; FERNANDES, L. de A.; LEÃO, T. L.; LAGUARDIA, F.; REIS, M. T. de P.; MELO, M. C.; AYRIMORAES, S. Monitoramento do esgoto como ferramenta de vigilância epidemiológica para controle da COVID-19: estudo de caso na cidade de Belo Horizonte. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.26, n.4, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200243>

CIFUENTES, E.; MAZARI-HIRIART, M.; CARNEIRO, F.; BIANCHI, F.; GONZALEZ, D. The risk of enteric diseases in young children and environmental indicators in sentinel areas of Mexico City. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.12, n.1, p.53-62, 2002. <http://dx.doi.org/10.1080/09603120120110059>

COLINA, V. de los Á. C. **Índice de salubridade ambiental (ISA) aplicado ao município Belém do Estado do Pará**. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO – CETESB. **Inventário estadual de resíduos sólidos urbanos. Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos**. 2015.

CONCEPCIÓN ROJAS, M.; SALAS, A. M. I.; LUNA, L. C.; GORBEA, M. B.; UTRA, I. B. Indicadores de salud ambiental y el trabajo de la población en la prevención del

dengue. Ciudad de La Habana, 2003. **Revista Cubana de Higiene y Epidemiología**, v.43, n.1, 2005.

CONESAN – CONSELHO ESTADUAL DE SANEAMENTO. Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. **ISA: Indicador de Salubridade Ambiental, Manual Básico**. São Paulo: Secretaria de Recursos Hídricos, Saneamento e Obras. 1999.

CONSELHO DELIBERATIVO DA SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – CONDEL/SUDENE. **Resolução CONDEL/SUDENE Nº 150, de 13 de dezembro de 2021**. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-condel/sudene-n-150-de-13-de-dezembro-de-2021-370970623> Acesso em: 30 mar. 2022.

COSTA DE ASSIS, S. J.; LOPES, J. M.; DE LIMA FILHO, B. F.; SANCHIS, G. J. B.; GUEDES, T. S. R.; CAVALCANTI, R. L.; ARAUJO, D. N.; DA NÓBREGA, A. J. S.; GUEDES, M. B. O. G.; DA COSTA OLIVEIRA, A. G. R. Dissemination of COVID-19 in inland cities of Northeastern Brazil. **PLoS ONE**, v.16, n.7, 0253171, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253171>

COSTA DE ASSIS, S. J.; LOPES, J. M.; GUEDES, M. B. O. G.; SANCHIS, G. J. B.; ARAUJO, D. N.; RONCALLI, A. G. B. Primary health care and social isolation against COVID-19 in Northeastern Brazil: Ecological time-series study. **PloS ONE**, v.16, n.5, p.e0250493-e0250493, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250493>

COSTA, J. S. da; RODRIGUES, L. de S.; SILVA, A. G. C. da; ABITBOL Neto, R.; BATISTA, I. H.; ALBUQUERQUE, C. C. de; MELO, M. da G. G. de; LIBERATO, M. A. R. Water, sanitation and the COVID-19 in the Amazon. **Holos**, v.5, p.1–23, 2020. <https://doi.org/10.15628/holos.2020.10803>

COSTA, R.V.F. (2010) **Desenvolvimento do Índice de Salubridade Ambiental (ISA) para comunidades rurais e sua aplicação e análise nas comunidades de Ouro Branco - MG** 185 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2010.

COSTA, S. G. F. DA; GADELHA, C. L. M.; FILGUEIRA, H. J. A. Saneamento básico e salubridade ambiental em cidades do litoral do estado da Paraíba. **Revista DAE**, v.67, n.219, p.9-23, 2019. <https://doi.org/10.4322/dae.2019.041>

CRISPIM, D. L.; RODRIGUES, R. S. S.; VIEIRA, A. S. DE A.; SILVEIRA, R. N. P. DE O.; FERNANDES, L. L. Espacialização da cobertura do serviço de saneamento básico e do índice de desenvolvimento humano dos municípios do Marajó, Pará. **Revista Verde**, v.11, n.4, p.112-122, 2016. <http://dx.doi.org/10.18378/rvads.v11i4.4507>

CRONIN, A. A.; SHRESTHA, D.; CORNIER, N.; ABDALLA, F.; EZARD, N.; ARAMBURU, C. A review of water and sanitation provision in refugee camps in association with selected health and nutrition indicators – the need for integrated service provision. **Journal Water & Health**. v.6, n.1, p.1-13, 2008. <http://dx.doi.org/10.2166/wh.2007.019>

CUNHA, M. dos P.; DUARTE-NETO, A. N.; POUR, S. Z.; HAJJAR, L. A.; FRASSETTO, F. P.; DOLHNIKOFF, M.; SALDIVA, P. H. do N.; ZANOTTO, P. M. de A. Systemic dengue infection associated with a new dengue virus type 2 introduction in Brazil - a case report. **BMC Infectious Diseases**, v.21, n.1, p.311-311, 2021. <https://doi.org/10.1186/s12879-021-05959-2>

CUNHA, T.B. **Análise integrada de salubridade ambiental e condições de moradia: aplicação no município de Itaguaçu da Bahia**. 2012. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

DALEY, K.; CASTLEDEN, H.; JAMIESON, R.; FURGAL, C. Water systems, sanitation, and public health risks in remote communities. **Social Science e Medicine**, v.135, pp.124-132, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2015.04.017>.

DANTAS, J. R. de Q.; CLEMENTINO, M do L. M.; DE FRANÇA, R. S. A cidade média interiorizada: Pau dos Ferros no desenvolvimento regional. **Revista Tecnologia e Sociedade**, Curitiba, v.11, n.23, 2015. <https://doi.org/10.3895/rts.v11n23.3155>

DARONCO, G. C.; WARTCHOW, D.; CYBIS, L. F. de A. Ensaio sobre os indicadores de qualidade para o saneamento. In: **Assemae XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento**, 2015, Poços de Caldas.

DAS, A.; GHOSH, S.; DAS, K.; DUTTA, I.; BASU, T.; DAS, M. Re:(In) visible impact of inadequate WaSH Provision on COVID-19 incidences can be not be ignored in large and megacities of India. **Public Health**, v.185, p.34–36, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2020.05.035>.

DATASUS. TABNET. Epidemiológicas e morbidade. Consulta 2015 a 2019. Disponível: <https://datasus.saude.gov.br/informacoes-de-saude-tabnet/de> Minas-MG. **Holos Environment**, v. 21, n. 1, p. 47-66, 2021. <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v21i1.12412>

DE MOURA, E. N.; PROCOPIUCK, M. GIS-based spatial analysis: basic sanitation services in Parana state, Southern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.192, n.2, p.96, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8063-2>

DEHNING, J.; ZIERENBERG, J.; SPITZNER, F. P.; WIBRAL, M.; NETO J. P.; WILCZEK, M.; PRIESEMANN, V. Inferring change points in the spread of COVID-19 reveals the effectiveness of interventions. **Science**, v.369, n.6500, 2020. <https://doi.org/10.1126/science.abb9789>

DIAS, M. C.; BORJA, P. C.; MORAES, L. R. S. Índice de Salubridade Ambiental em áreas de ocupação espontâneas: um estudo em Salvador – Bahia. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 82-92, 2004.

DONDE, O. O.; ATONI, E.; MUIA, A. W.; YILLIA, P. T. COVID-19 pandemic: Water, sanitation and hygiene (WASH) as a critical control measure remains a major challenge in low-income countries. **Water Research**. v. 191, p. 1-6, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116793>

DUARTE, A. D. **Indicador de salubridade ambiental para avaliação de áreas urbanas: um estudo de caso no agreste pernambucano**. 2018. 65 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2018.

DUARTE, A. D.; BEZERRA, S. de 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 (Online)**, v.56, n.1, p.166-179, 2021. <https://doi.org/10.5327/Z21769478750>

DULTRA. **Barragem de Pau dos Ferros 2015**. Disponível em: <https://www.jornalatromba.com.br/2015/01/barragem-de-pau-dos-ferros-encontra-se.html>. Acesso em: 12 jan. 2020.

DURÁN-POLANCO, L.; SILLER, M. Crowd management COVID-19. **Annual Reviews in Control**, v.52, p.465-478, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2021.04.006>

DUTT, P.; TSETLIN, I. Income distribution and economic development: Insights from machine learning. **Economics & Politics**, v. 33, n. 1, p. 1-36, 2021. <https://doi.org/10.1111/ecpo.12157>

ELIUB, B.; HUAG, T.; H AHMED, E.; ZHAO, J.; KHALID, M. E.; ABBASS, W.; MOHAMMED, M. B. Geospatial distributions of groundwater quality in Gedaref State using Geographic Information System (GIS) and Drinking Water Quality Index (DWQI). **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.16, n.5, p.731, 2019. <https://doi.org/10.3390/ijerph16050731>.

EKUMAH, B.; ARMAH, F. A.; YAWSON, D. O.; QUANSAH, R.; NYIEKU, F. E.; OWUSU, S. A.; ODOI, J. O.; AFITIRI, A.R. Disparate on-site access to water, sanitation, and food storage heighten the risk of COVID-19 spread in Sub-Saharan Africa. **Environmental Research**, v.189, 109936, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109936>.

EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO RIO GRANDE DO NORTE – EMPARN. **Monitoramento das variáveis meteorológicas**. 2019.

ESLAMI, H.; JALILI, M. The role of environmental factors to transmission of SARS-CoV-2 (COVID-19). **AMB Express**, v.10, n.1, p.92, 2020. <https://doi.org/10.1186/s13568-020-01028-0>

FEDERGUEN, A.; NAHA, S. Crowding effects dominate demographic attributes in COVID-19 Cases. **International Journal of Infectious Diseases**, v.102, p.509-516, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2020.10.063>.

FERNANDES, C. **Dinâmica urbana e os rebatimentos da escassez hídrica em Pau dos Ferros/RN**. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Dinâmicas Territoriais no Semiárido) – Universidade do Estado do Rio Grande Do Norte, Pau dos Ferros, 2017.

FERREIRA, A.; CUNHA, C. Sustentabilidade ambiental da água consumida no município do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Panamericana de Salud Pública**. v.18, n.2, p.93-99, 2005. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/8065>

FERNANDES, E. A.; CUNHA, N. R. S; SILVA, R. G. Degradação ambiental no estado de Minas Gerais. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v.43, n.1, pp.179-198, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-20032005000100010>

FERREIRA, D.; SILVA, L.; FIGUEIREDO FILHO, D. B. Saneamento importa? Uma análise da relação entre condições sanitárias e COVID-19 nas capitais brasileiras. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.26, n.6, p. 1079-1084, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200355>

FERRETTI, L.; WYMANT, C.; KENDALL, M.; ZHAO, L.; NURTAY, A.; ABELER-DÖRNER, L.; BONSALL, M. P. D.; FRASER, C. Quantifying SARS-CoV-2 transmission suggests epidemic control with digital contact tracing. **Science**, v.368, n.6491, 9p., 2020. <https://doi.org/10.1126/science.abb6936>

FIGUEREDO, M. S.; AMÂNCIO, T. A.; SALVATIERRA, J. A.; DE BRITO, B. B.; DA SILVA F. A. F.; QUEIROZ, D. M. M.; DE MELO, F. F. COVID-19 and dengue coinfection in Brazil. **World Journal of Clinical Infectious Diseases**, v.10, n.4, p.51-54, 2020. <https://doi-org.ez16.periodicos.capes.gov.br/10.5495/wjcid.v>

G1. Centenas de peixes aparecem mortos em barragem na cidade de Pau dos Ferros. Disponível em: <https://g1.globo.com/rn/rio-grande-do-norte/noticia/2020/02/06/centenas-de-peixes-aparecem-mortos-em-barragem-na-cidade-de-pau-dos-ferros-rn.ghtml>. Acesso em: 02 jun. 2020.

GAMA, J. A. da S.; GOMES, G. T. C.; SOUZA, V. C. b. de. Incertezas na representação da salubridade ambiental através de indicadores obtidos com base em diferentes fontes de informação. Estudo de caso: bacia do Riacho Reginaldo em Maceió, Alagoas. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v.4, n.2, p.141-154, 2016. <https://doi.org/10.9771/gesta.v4i2.14298>

GAMA, J. A. da S.; SANTOS, J. R. N. dos; ALBUQUERQUE, S. C.; SANTANA, P. R. de. Mapeamento da cobertura do abastecimento de água com o uso de indicadores na bacia hidrográfica do Riacho Reginaldo em Maceió/AL. **Brazilian Journal of Development**, v.8, n.6, p.43158-43172, 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n6-042>

GAMA, J.A.S. (2013) **Índice de Salubridade Ambiental em Maceió aplicado à Bacia Hidrográfica do Riacho Reginaldo em Maceió/AL**. 102 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2013.

GANGWAR, H. S.; RAY, P. K. C. Geographic information system-based analysis of COVID-19 cases in India during pre-lockdown, lockdown, and unlock phases. **International Journal of Infectious Diseases**, v.105, p.424-435, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijid.2021.02.070>

GRANGEIRO, E. L. de A.; RIBEIRO, M. M. R.; MIRANDA, L. I. B. de. Integração de políticas públicas no Brasil: o caso dos setores de recursos hídricos, urbano e saneamento. **Cadernos Metrópole**, v.22, n.48, 2020. <https://doi.org/10.1590/2236-9996.2020-4804>.

GWENZI, W. Leaving no stone unturned in light of the COVID-19 fecal-oral hypothesis? A water, sanitation and hygiene (WASH) perspective target in low-income countries. **Science of the Total Environment**, v.753, p.141751, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141751>

HALLAL, P.; HARTWIG, F.; HORTA, B.; VICTORA, G. D.; SILVEIRA, M.; STRUCHINER, C.; VIDALETI, L.P.; NEUMANN, N.; PELLANDA, L. C.; DELLAGOSTIN, O. A.; BURATTINI, M. N.; MENEZES, A. M.; BARROS, F. C.; BARROS, A. J.; VICTORIA, C. G. Remarkable variability in SARS-CoV-2 antibodies across Brazilian regions: nationwide serological household survey in 27 states. **medRxiv**. 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.05.30.20117531>

HAMIDI, S.; SABOURI, S.; EWING, R. Does Density Aggravate the COVID-19 Pandemic? **Journal of the American Planning Association**, v.86, n.4, p.495-509, 2020. <https://doi.org/10.1080/01944363.2020.1777891>

HAMMOURI, N.; TALAFHA, M.; HAMARNEH, Q.; ANNAB, Z.; AL-RUZOUQ, R.; SHANABLEH, A. Vulnerability hotspots mapping for enhancing sanitation services provision: a case study of Jordan. **Water**, v.14, n.11, p.1689, 2022. <https://doi.org/10.3390/w14111689>.

HELLER, L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. **Ciência e Saúde Coletiva**, v.3, n.2, p.73-84, 1998. <https://doi.org/10.1590/S1413-81231998000200007>

HELLER, L.; MOTA, C.R.; GRECO, D. B. COVID-19 faecal-oral transmission: Are we asking the right questions? **Science of The Total Environment**, v.729, 138919, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138919>

HEYMANN DL, SHINDO N. COVID-19: what is next for public health? **Lancet**, v.395, p.542-45, 2020. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30374-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30374-3)

HSU, W. L.; TSAI, F. M.; SHIAU, Y. C. Planning and assessment system for light rail transit construction in Taiwan. **Microsystem Technologies**, v.27, p.1051–1060, 2021. <https://doi-org.ez16.periodicos.capes.gov.br/10.1111/dpr.12588>

HYUN, C.; BURT, Z.; CRIDER, Y.; NELSON, K. L.; PRASAD, C. S. S.; RAYASAM, S. D. G.; TARPEH, W.; RAY, I. Sanitation for Low-Income Regions: A Cross-Disciplinary Review. **Annual Review of Environment and Resources**, v.44, n.1, p.287-318, 2019. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718-033327>

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama. Microrregião de Pau dos Ferros**. 2021. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/pau-dos-ferros/panorama>
_____. **Área de Pau dos Ferros**. 2019. Disponível: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/rn/pau-dos-ferros.html>

_____. **Pau dos Ferros.** Dados cartográficos. 2020. Disponível: <https://www.ibge.gov.br>

_____. **Portal cidades.** 2010. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rn/pau-dos-ferros/panorama>

_____. **Região de influência das cidades.** 2018. Disponível: https://www.ibge.gov.br/apps/regic/pdf/REGIC_2018.pdf

IGARN – INSTITUTO DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO RIO GRANDE DO NORTE. **Rodízio em Pau dos Ferros terá alteração em seu cronograma.** 2015. Disponível em: <http://www.igarn.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEMeTARG=74209eACT=nullePAGE=nullePARM=nulleLBL=NOT%C3%8DCIA> Acesso em: 04 mar. 2020.

INSTITUTO TRATA BRASIL – ITB. **Esgotômetro.** 2022. Disponível em:

_____. **Principais estatísticas de esgoto no Brasil.** 2020. Disponível em: <https://www.tratabrasil.org.br/pt/saneamento/principais-estatisticas/no-brasil/esgoto> Acesso em: 04 mar. 2021.

IOANNIDIS, J. P. A.; CRIPPS, S.; TANNER, M. A. Forecasting for COVID-19 has failed. **International Journal of Forecasting**, v.38, n.2, p.423-438, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2020.08.004>

JANZEKOVIC, F.; NOVAK, T. **PCA – A Powerful Method for Analyze Ecological Niches, Chapter 8 in Principal Component Analysis - Multidisciplinary Applications.** InTech, Shanghai. 2012.

JARDIM, F. A., VON SPERLING, E., JARDIM, B. F. M., ALMEIDA, K. C. B. Fatores determinantes das florações de cianobactérias na água do Rio Doce, Minas Gerais, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.19, n.3, p.207-218, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000001026>

JOLLIFFE, I.T. **Principal Component Analysis.** Springer-Verlag. 1986.

JORGE, D. C. P.; RODRIGUES, M. S.; SILVA, M. S.; CARDIM, L. L.; DA SILVA, N. B.; SILVEIRA, I. H.; SILVA, V. A. F.; PEREIRA, F. A. C.; AZEVEDO, A. R. de; AMAD, A. A. S.; PINHO, S. T. R.; ANDRADE, R. F. S.; RAMOS, P. I. P; OLIVEIRA, J. F. Assessing the nationwide impact of COVID-19 mitigation policies on the transmission rate of SARS-CoV-2 in Brazil. **Epidemics**, v.35, 100465, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2021.100465>

JOSHI, K. P.; PANDE, A. P.; PANDE, C. Physicochemical investigation of some primitive water sources in district Champawat for potability and preservation of

historical aesthetics, Uttarakhand, India. **Holistic Approach to Environment**, v.12, n.1, p.1-8, 2020. <https://doi.org/10.33765/thate.12.1.1>

JUNG, E. M.; JAGALS, P.; BRERETON, C.; SLY, P. D.; KIM, R.; KIM, E. M.; HÁ, E. H. Children's environmental health indicators in context of the sustainable development goals for small island developing states. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.15, n.7, p.1404-1416, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071404>

JUNG, E. M.; KIM, E. M.; KANG, M.; GOLDIZEN, F.; GORE, F.; DRISSE, M. N. B.; HA, E. H. Children's environmental health indicators for low-and middle-income countries in Asia. **Annual Global Health**. v.83, n.3-4, p.530-540, 2017. <http://doi.org/10.1016/j.aogh.2017.10.013>

KERR, L.; KENDALL, C.; SILVA, A. A. M; AQUINO, E. M. L; PESCARINI, J. M.; ALMEIDA R. L. F. COVID-19 no Nordeste brasileiro: sucessos e limitações nas respostas dos governos dos estados. **Ciência & Saúde Coletiva**, v.25, n.2, p.4099–4120, 2020. <https://doi.org/10.1590/1413-812320202510.2.28642020>

KIRF, M. K.; RØY, H.; HOLTAPPELS, M.; FISCHER, J. P.; SCHUBERT, C. J.; WEHRLI, B. Redox gradients at the low oxygen boundary of lakes. **Aquatic Sciences**, v.77, p.81– 93, 2015. <https://doi-org.ez16.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00027-014-0365-4>

KITAJIMA, M.; AHMED, W.; BIBBY, K.; CARDUCCI, A.; GERBA, C. P.; HAMILTON, K. A. SARS-CoV-2 in wastewater: State of the knowledge and research needs. **Science of The Total Environment**, v.739, 139076, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139076>

KITCHENHAM, B. **Procedures for performing systematic reviews** [Joint Technical Report]. Reino Unido: Keele University. Technical Report TR/SE-0401 2004: 1-27.

KLAMT, R. A.; Lobo, E. A.; Costa, A. B. da. Development of a Water Quality Index (WQI) for public supply in the Vale do Rio Pardo region, RS, Brazil. **Revista Ambiente e Água**, v.16, n.4, 2021. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2711>

KOBREN, J. C. P.; SANTOS, L. N.; CRUZ, P. A. G.; REZENDE, T. C.; BARBADO, N. Aplicação do Indicador de Salubridade Ambiental (EHI) no Município de Porto Rico, PR. **Mundi Meio Ambiente e Agrárias**, v.4, n.1, 2019.

KREYSZIG, E. **Advanced Engineering Mathematics**, John Wiley & Sons Inc.: Hoboken, NJ, USA. 1979.

LEITE, C. N. M. (2017). **Avaliação de Planos Municipais de Saneamento com base na intermitência no abastecimento de água 2017**. 19f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2017.

LEITE, L. R. M.; MOURA, B. M. D. Caracterização do consumo per capita e do uso da água da população de Pau dos Ferros-RN. **Holos Environment**, v.19, n.4, p. 640-656, 2019. <http://dx.doi.org/10.14295/holos.v19i4.12356>

LIMA, A. S. C. (2014) **Diagnóstico das condições de saneamento básico dos municípios do estado de Goiás operados pelas prefeituras** 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

LIMA, A. S. C.; ARRUDA, P. N.; SCALIZE, P. S. Indicador de salubridade ambiental em 21 municípios do estado de Goiás com serviços públicos de saneamento básico operados pelas prefeituras. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.24, n.3, p.439-452, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019188336>

LIMA, D. F.; SOUTO, L. V.; BARRETO FILHO, B. F. A seca e seus desdobramentos: reflexões a partir da realidade da Microrregião de Pau dos Ferros. **Journal of Urban Technology and Sustainability**, v.3, n.1, p. 65-77, 2020. <https://doi.org/10.47842/juts.v3i1.24>

LIMA, D. N. de S. **Indicador de salubridade ambiental: estudo em um município de Pequeno porte do estado do Ceará**. 2021. 74 f. Monografia (Curso de Engenharia Civil), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2021.

LONE, S. A.; AHMAD, A. COVID-19 pandemic - an African perspective. **Emerging Microbes e Infections**, v.9, n.1, p.1300-1308, 2020. <https://doi.org/10.1080/22221751.2020.1775132>

LORENZ, C.; AZEVEDO, T. S.; CHIARAVALLOTI-NETO, F. COVID-19 and dengue fever: A dangerous combination for the health system in Brazil. **Travel Medicine and Infectious Diseases**, v.35, p.101659, 2020. <https://doi.org.ez16.periodicos.capes.gov.br/10.1016/j.tmaid>

MACCARINI, M. B.; HENNING, E. Indicadores de Salubridade Ambiental: Uma análise sistemática. In: **6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente**, 2018b, Bento Gonçalves.

MACCARINI, M. B.; HENNING, E. Indicadores de Salubridade Ambiental: Uma análise sistemática. **Scientia Cum Industria**, v.6, n.3, p.44-49, 2018a.

MAĆKIEWICZ, A.; RATAJCZAK, W. Principal components analysis (PCA). **Computers & Geosciences**, v.19, p.303–342, 1993.

MAFRA, S. N.; TRAVASSOS, G. H. **Estudos primários e secundários apoiando a busca por evidência em engenharia de software** [Joint Technical Report]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. Technical Report ES 687 2006: 1-33.

MAIA, A. A. S. **Cenário do saneamento básico no município de Pau dos Ferros-RN (2015-2016)**. 95f. Relatório de Estágio Supervisionado (Graduação em Administração). Campus Avançado Professora Maria Elisa de Albuquerque Maia. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Pau dos Ferros, 2016.

MAINA, M.; TOSAS-AUGUET, O.; MCKNIGHT, J.; MATHIAS, Z.; KIMEMIA, G.; MWANIKI, P.; SCHULTSZ, C.; ENGLISH, M. Evaluating the foundations that help avert antimicrobial resistance: performance of essential water sanitation and hygiene functions in hospitals and requirements for action in Kenya. **PLoS ONE**, v.14, e0222922, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222922>.

MARINELLI, N. P.; ALBUQUERQUE, L. P. A; SOUSA, I. D. B; BATISTA, F. M. A; MASCARENHAS, M. D. M; RODRIGUES, M. T. P. Evolution of indicators and service capacity at the beginning of the COVID-19 epidemic in Northeast Brazil, 2020. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v.29, n.3, e2020226, 2020. <https://doi.org/10.5123/s1679-49742020000300008>

MAROOSI, M.; MESDAGHINIA, A.; ALIMOHAMMADI, M.; NADDAFI, K.; MAHVI, A. H.; NABIZADEH NODEHI, R. Developing environmental health indicators [EHIs] for Iran based on the causal effect model. **Journal Environmental Health Science**, v.17, n.1, p.273-279. 2019. <http://dx.doi.org/10.1007/s40201-019-00346-1>.

MBITI, I.; MURALIDHARAN, K.; ROMERO, M.; SCHIPPER, Y.; MANDA, C.; RAJANI, R. Inputs, Incentives, and Complementarities in Education: Experimental Evidence from Tanzania. **The Quarterly Journal of Economics**, v.134, n.3, p.1627-1673, 2019. <https://doi.org/10.1093/qje/qjz010>

MENDES, J. S.; LIMA NETO, I. L. Análise e projeção da salubridade ambiental com base em planos municipais de saneamento básico. **Revista DAE**, v.66, n.210, p.5-16, 2018. <https://doi.org/10.4322/dae.2018.002>

MENEZES, G.O. (2007) **Aplicação do Índice de Salubridade Ambiental em comunidades carentes e sua comparação com comunidades padrão: instrumentos para planos de gestão municipal** 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2007.

MINOGLLOU, M.; KOMILIS, D. Describing health care waste generation rates using regression modeling and principal component analysis. **Waste management (Elmsford)**, v.78, p.811-818, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.053>

MIRAHMADIZADEH, A.; REZAEI, F.; JOKARI, K.; MOFTAKHAR, L.; HEMATI, A.; DEHGHANI, S. S.; HASSANI, A. H.; LOTFI, M.; JAFARI, A.; GHELICHI-GHOJOGH, M. Correlation between environmental factors and COVID-19 indices: a global level ecological study. **Environmental Science and Pollution Research**, v.29, n.11, p.16667-16677, 2022. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16876-x>

MITRA, A.; NARAYAN, A. S.; LÜTHI, C. Sanitation potpourri: criteria for planning mix of sanitation systems for citywide inclusive sanitation. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v.49, n.8, p.2195-2215. 2022. <https://doi.org/10.1177/23998083221091568>

MONTEIRO, T. H. A.; CHAVES, T. S. S.; MATOS, H. J.; SOFFFIATTI, N. F. L.; GUIMARÃES, R. J. P. S. E.; GUIMARÃES, L. H. R.; VENTURA, A. M. R.; MACHADO, R. L. D. Basic sanitation, socioeconomic conditions, and degree of risk for the presence and maintenance of malaria in a low-transmission area in the Brazilian

Amazon. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**. v.48, n.5, p.573-579, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0037-8682-0118-2015>

MOURA, A. A. de; MORAIS, J. C. de. **Aplicação do indicador de salubridade ambiental (ISA) no município de Macaparana – PE**. 2019. 23 f. Monografia (Curso de Engenharia Civil), Instituto Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

MUOIO, R.; CARETTI, C.; ROSSI, L.; SANTIANNI, D.; LUBELLO, C. Water safety plans and risk assessment: A novel procedure applied to treated water turbidity and gastrointestinal diseases. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v.223, n.1, p.281-288, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.07.008>

NATH, B.; MAJUMDER, S.; SEN, J.; RAHMAN, M. M. Risk analysis of COVID-19 infections in Kolkata Metropolitan City: a GIS-Based study and policy implications. **Geohealth**, v.5, n.4, p.e2020GH000368-n/a, 2021. <https://doi.org/10.1029/2020GH000368>

NERI, G. L T. **Saneamento ambiental: uma deficiência na Ilha do Ouro no semiárido de Sergipe**. 2005. 415 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2005.

NETTO, R. G. F., CORRÊA, J. W. do N. Epidemiologia do surto de doença por Coronavírus (COVID-19). **Desafios**, v.7, n.3 Especial: Suplemento - COVID-19, p.18-25, 2020. <https://doi.org/10.20873/uftsuple2020-8710>

NEUMANN, B.; CALMON, A.P.S.; AGUIAR, M.M. Aplicação do ISA e Diagrama de Pareto como ferramentas de gestão do loteamento Lagoa Carapebus. **Latin American Journal of Business Management**, Taubaté, v. 4, n. 1, p. 44-65, 2013.

NOBRE, S. B.; DE SOUSA, C. R. C.; BEZERRA, J. M.; MENDONÇA, E. V. P.; ROQUE, F. S.; COSTA, H. C. G.; DA COSTA, T. T.; DO RÊGO, A. T. A. Levantamento dos resíduos sólidos gerados no município de Pau dos Ferros, Rio Grande do Norte. **Brazilian Journals Development**, v.7, n.6, p.54056-54075, 2021.

NTOZINI, R.; MARKS, S. J.; MANGWADU, G.; MBUYA, M. N. N.; GEREMA, G.; MUTASA, B.; JULIAN, T. R.; SCHWAB, K. J. Using geographic information systems and spatial analysis methods to assess household access to water and sanitation coverage in the SHINE study. **Clinical Infectious Diseases**, v.61, n.7, p.716–725, 2015. <https://doi.org/10.1093/cid/civ847>

NUNES, C. M.; ANDERAOS, A. A.; MARINHO, A. C. A. Reforma 2020 do setor de serviços de água e saneamento no Brasil. **Revista Jurídica do BRICS**, v.8, n.2, p.66-8, 2021. <https://doi.org/10.21684/2412-2343-2021-8-2-66-88>

ODIH, E. E.; AFOLAYAN, A. O.; AKINTAYO, F.; OKEKE, I. N. Could Water and Sanitation Shortfalls Exacerbate SARS-CoV-2 Transmission Risks? **American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v.103, n.2, p.554-557, 2020. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.20-0462>

OLIVEIRA, A. de. Market solutions and inequalities in sanitation services access in Brazilian cities. **Theoretical and Empirical Researches in Urban Management**, v.13, n.4, p.28-41, nov. 2018.

OLIVEIRA, G.S. (2014) **O modelo ISA utilizado no Diagnóstico da Salubridade Ambiental nos Bairros do Município de Juiz de Fora - MG** 114 f. Monografia (Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

OLIVEIRA, J. F. de; FIA, R.; FIA, F. R. L.; RODRIGUES, F. N.; MATOS, M. P. de; SINISCALCHI, L. A. B. Principal component analysis as a criterion for monitoring variable organic load of swine wastewater in integrated biological reactors UASB, SABF and HSSF-CW. **Journal of Environmental Management**, v.262, p.110386-110386, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110386>

ONDER G, REZZA G, BRUSAFERRO S. Case-Fatality Rate and Characteristics of Patients Dying in Relation to COVID-19 in Italy. **Jama**, v.323, n.18, p.1775-1776, 2020. <https://doi.org/10.1001/jama.2020.4683> 32203977

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. Brasil. **Mais de 4,2 bilhões de pessoas vivem sem acesso a saneamento básico**. 2020. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/101526-mais-de-42-bilhoes-de-pessoas-vivem-sem-acesso-saneamento-basico#:~:text=Mais%20da%20metade%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o,de%20saneamento%20e%20%C3%A1gua%20contaminada.>>>.

_____. **The human right to water and sanitation**, United Nations General Assembly, New York, 2010.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. **Relatório da Missão Conjunta OMS-China sobre a Doença de Coronavírus 2019 (COVID-19)**. 2020. Disponível: <https://www.who.int/docs/default-source/coronaviruse/who-china-joint-mission-on-covid-19-final-report.pdf> Acesso em: 08 jul. 2021.

OUR WORLD IN DATA. **Mortes por COVID-19 nos EUA e Brasil em 2020 e 2021**. Disponível em: <https://ourworldindata.org/covid-deaths>. Acesso em: 9 mar. 2022.

PAIM, J.; TRAVASSOS, C.; ALMEIDA, C.; BAHIA, L.; MACINKO, J.; JANG, D.; PARK, H.; CHOI, G. Estimation of leakage ratio using principal component analysis and artificial neural network in water distribution systems. **Sustainability**, v.10, p.750, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10030750>

PARIKH, P.; DIEP, L.; GUPTE, J.; LAKHANPAUL, M. COVID-19 challenges and WASH in informal settlements: Integrated action supported by the sustainable development goals. **Cities**, v.107, 102871, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102871>.

PAU DOS FERROS. **Boletim Epidemiológico Covid-19**. Divulgação por meio do uso de rede social da prefeitura de Pau dos Ferros. 2020. Disponível:

<https://www.facebook.com/prefeituradepaudosferros/photos/pb.100067206880821.-2207520000../1384902661713648/?type=3>

_____. **Decreto Executivo nº 006/2020**. 2020. Disponível: https://paudosferros.rn.gov.br/arquivos/1034/DIARIO%20OFICIAL_2646_2020_000001.pdf

_____. **Visita às obras da adutora de engate rápido**. Disponível em: <https://www.camarapaudosferros.rn.gov.br/informa.php?id=114>. Acesso em: 20 mai. 2020.

PEDROSA, R. N. **Avaliação pós-ocupação sob o aspecto do saneamento ambiental em área de interesse social urbanizada no município de Campina Grande**. 2014. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

PEDROSA, R. N.; MIRANDA, L. I. B.; RIBEIRO, M. M. R. Avaliação pós-ocupação sob o aspecto do saneamento ambiental em área de interesse social urbanizada no município de Campina Grande, Paraíba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.21, n.3, p.535-546, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016146176>

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. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v11.6.p2130-2139>

PELLENZ, J. de L. da; PUCHALE, C. L. Qualidade ambiental e seus condicionantes: uma análise multivariada para os municípios do Rio Grande do Sul. **Estudios Económicos**, v. XXXV, n.71, pp.5-24, 2018.

PEREIRA FILHO, D. de C. **Evolução do indicador de salubridade ambiental modificado nos municípios atendidos pelo Sistema Adutor Monsenhor Expedito**. 2021. 82 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.

PEREIRA, D. V. de M. **Aplicação do indicador de salubridade ambiental – ISA no município de Mossoró – RN**. 2016. 49 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

PEREIRA, M. T.; SILVA, F. F.; GIMENES, M. L.; ZANATTA, O. A. Desenvolvimento de Indicador de Qualidade de Saneamento Básico Urbano (IQSBU) e aplicação em cidades paranaenses. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**. v.8, n.1, p.135-164, 2015. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2015v8n1p135-164>

PÉREZ-MARTÍNEZ, P. J.; DUNCK, J. A.; DE ASSUNÇÃO, J. V.; CONNERTON, P.; SLOVIC, A.D.; H.RIBEIRO, H.; MIRANDA, R. M. Long-term commuting times and air quality relationship to COVID-19 in São Paulo. **Journal of Transport Geography**, v.101, p.103349, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2022.103349>

PINEO, H.; GLONTI, K.; RUTTER, H.; ZIMMERMANN, N.; WILKINSON, P.; DAVIES, M. Use of Urban Health Indicator tools by built environment policy- and

decision-makers: a systematic review and narrative synthesis. **Journal Urban Health**, v.97, n.3, p.418-435. 2020. <http://dx.doi.org/10.1007/s11524-019-00378-w>

PINTO, L. P.; CABRAL, A. C.; PERISSATO, S. M.; AZEVEDO, K. D. de. Salubridade Ambiental de São Pedro do Iguaçu-PR. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 1, 2014. <https://doi.org/10.5380/rber.v3i1.36916>

PINTO, L. P.; MARI, A. C. C.; MARI JUNIOR, A.; AZEVEDO, K. D. DE; CABRAL, C.; FRIGO, E. P. Condição ambiental do município de Diamante do Oeste – PR. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.10, n.1, p.62-68, 2016. <https://doi.org/10.18011/bioeng2016v10n1p62-68>

PONCE-DE-LEON, M.; DEL VALLE, J.; FERNANDEZ, J. M.; BERNARDO, M.; CIRILLO, D.; SANCHEZ-VALLE, J.; SMITH, M.; CAPELLA-GUTIERREZ, S.; GULLÓN, T.; VALENCIA, A. COVID-19 flow-maps an open geographic information system on COVID-19 and human mobility for Spain. **Scientific Data**, v.8, n.1, p.310-310, 2021. DOI: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.15198123>

POUYA, S.; AGHLMAND, M. Evaluation of urban green space per capita with new remote sensing and geographic information system techniques and the importance of urban green space during the COVID-19 pandemic. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.194, n.9, p.633-633, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-10298-z>

PRAXEDES, L. L.; BEZERRA, J. A. Registros recentes sobre a expansão urbana e a especulação imobiliária da/na cidade de Pau dos Ferros-RN. **Caminhos de Geografia**, n.13, v.43, p. 188–203, 2012.

PREFEITURA DE OLÍMPIA. (2010) **Plano de Saneamento Ambiental de Olímpia Relatório Final**. Olímpia: Prefeitura.

RABIU, A. T.; MOHAN, A.; ÇAVDAROĞLU, S.; XENOPHONTOS, E. COSTA, A. C. S.; TSAGKARIS, C.; HASHIM, H. T.; AHMAD, S.; ESSAR, M. Y. Dengue and COVID-19: a double burden to Brazil. **Journal of Medical Virology**, v.93, n.7, p.4092-4093, 2021. <https://doi-org.ez16.periodicos.capes.gov.br/10.1002/jmv.26955>

RANAEE, E.; ABBASI, A. A.; YAZDI, J. T.; ZIYAAEE, M. Feasibility of rainwater harvesting and consumption in a middle eastern semiarid urban area. **Water**, v.13, n.15, p.2130, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13152130>

RAY, I. Viewpoint – Handwashing and COVID-19: Simple, right there...? **World Development**, v.135, 105086, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2020.105086>

REAVES, K. M.; LEVY, J.; NYAMBE, I.; HAY, M. C.; MUTITI, S.; CHANDIPO, R.; MEIMAN, J. Drinking water quality and provision in six low-income, peri-urban communities of Lusaka, Zambia. **Geohealth**, v. 5, n. 1, p.e2020GH000283-n/a, 2021.

REGO, R. F.; LIMA, V. C.; LIMA, A. C.; BARRETO, M. L.; PRADO, M. S.; STRINA, A. Environmental indicators of intra-urban heterogeneity. **Cadernos de Saúde Pública**. v.29, n.6, p.1173-1185, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2013000600014>

RIBEIRO, A. A. da S; DUARTE, A. D.; BEZERRA, S. de T. M.; COELHO, I. C. L.; GONÇALVES, E. A. P. Índice de salubridade ambiental em áreas urbanas: um estudo em Caruaru-PE. In: **29º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente Encontro Técnico AESABESP**, 2018.

RIBEIRO, H. Saúde Pública e meio ambiente: evolução do conhecimento e da prática. **Saúde e Sociedade**, v.13, n.1, p.70-80, 2004. <https://doi.org/10.1590/S0104-12902004000100008>

RIO GRANDE DO NORTE. Resolução CONEMA Nº 1 DE 23/06/2014. 2014. Disponível: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/idema/DOC/DOC000000000043313.PDF>
ROCHA, J.L.S. (2008) **Indicador Integrado de Qualidade Ambiental, Aplicado à Gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Jiquiriçá - BA** 99 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus.

_____. **Por conta da seca, Governo Federal reconhece situação de emergência em 18 cidades do Rio Grande do Norte**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/noticias/por-conta-da-seca-governo-federal-reconhece-situacao-de-emergencia-em-18-cidades-do-rio-grande-do-norte> Acesso em: 03 mai. 2021.

_____. **Boletim epidemiológico**. 2020. Disponível: <http://www.saude.rn.gov.br/>

ROCHA, L. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Indicador de salubridade ambiental para Campina Grande, PB: adaptações, desenvolvimentos e aplicações. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.24, n.2, p.315-326, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019166209>

ROCHA, L. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Indicador de salubridade ambiental para Campina Grande, PB: adaptações, desenvolvimentos e aplicações. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.24, n.2, p.315-326, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019166209>

RODRIGUES JUNIOR, J. C. **Condições sanitário-ambientais em áreas de morros urbanos da Zona Norte do Recife: aplicação do índice de salubridade ambiental com utilização de estatística multivariada e geoespacialização**. 2022. 122 f. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.

RODRIGUES JUNIOR, J. C. Determinação de um índice de salubridade ambiental em Propriá, no baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental**, v.15, n.1, p.20-26, 2021. <https://doi.org/10.18378/rbga.v15il.8361>.

RODRIGUES, J. L. **Espacialização e avaliação dos indicadores operacionais de esgotamento sanitário para as regiões de planejamento do Estado do Ceará**. 102 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Campus de Crateús, Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2022.

RODRIGUES, L. C.; SILVEIRA JUNIOR, J. DA; SILVA, I. C. DE L.; DANTAS, A. Cartografia do saneamento básico do Rio Grande do Norte. **Dossiê Cartografias ambientais do Rio Grande do Norte**, v.1, n.34, 2018. <https://doi.org/10.4000/confins.12915>.

RODRÍGUEZ, A. M. P.; ROJAS, M. C.; FERNÁNDEZ, A. M. I. Saneamento ambiental e doenças digestivas no município de Plaza de la Revolución, 1992-1997. **Revista Cubana de Higiene y Epidemiología**. v.37, n.2, p.82-91, 1999.

SABER, A.; JAMES, D. E.; HAYES, D. F. Long-term forecast of water temperature and dissolved oxygen profiles in deep lakes using artificial neural networks conjugated with wavelet transform. **Limnology and Oceanography**, v.65, n.6, p.1297-1317, 2020. <https://doi.org/10.1002/lno.11390>

SAHOO, H.; ACHARYA, S. Education among Scheduled Caste Population in India. **Indonesian Journal of Geography**, v.51, n.3, 2019. <https://doi.org/10.22146/ijg.43192>

SALGADO, M.; VIEIRA, A. C. L.; TORRES, A.; OLIVEIRA, M. D. Selecting indicators to monitor and assess environmental health in a portuguese urban setting: a participatory approach. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.1, n.22, p.8597, 2020. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph17228597>

SANTOS, C. C. (2016) **Aplicação do Índice de Salubridade Ambiental para avaliar a situação no Loteamento Garcia, Cruz das Almas (BA)**. 62 f. Monografia (Graduação em Ciências Exatas e Tecnológicas) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2016.

SANTOS, F. F. S. dos.; DALTRO FILHO, J. O uso do indicador de salubridade ambiental (ISA) para análise do saneamento básico na sede do município de Brejo Grande/SE. In: **VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, 2015.

SANTOS, G. C. F. dos; RIBEIRO, M. A. M. de F. Geoprocessamento aplicado à espacialização de serviço de abastecimento de água em municípios da Paraíba. **Interscientia**, v.5, n.1, p.92-104, 2017.

SANTOS, L. F. P. (2012) **Indicadores de Salubridade Ambiental (ISA) e sua aplicação para gestão urbana** 131 f. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental e Políticas Públicas) - Universidade Federal do Amapá, Macapá.

SANTOS, R. S. F.; FERREIRA, M. I. P. Indicadores e índices de salubridade ambiental, relações estuarinas: o caso da comunidade de Gargaú, São Francisco do Itabapoana / RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v.10, n.1, p.139-164, 2016.

SANTOS, R. F.; CABRAL, A.C.; FRIGO, E.P.; BASTOS, R.K.; PLACIDO, H.F.; PINTO, L.P. Aplicação de Indicadores no município de Palotina - PR. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v.9, n.1, p.84-89, 2015. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2015v9n1p84-89>

SANTOS, R. M. (2008) **A utilização do Indicador de Salubridade Ambiental - ISA como ferramenta de planejamento aplicado à cidade de Aquidauana/MS**. 164 f.

Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Aquidauana, 2008.

SCHAIDER, L. A.; RODGERS, K. M.; RUDEL, R. A. Review of organic wastewater compound concentrations and removal in onsite wastewater treatment systems. **Environmental Science e Technology**, v.51, n.13, p.7304–7317, 2017. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b04778>

SECRETARIA DE ESTADO DA ADMINISTRAÇÃO E RECURSOS HUMANOS – SEARH. **Situação volumétrica dos reservatórios do Rio Grande do Norte 2015**. Disponível em: <http://sistemas.searh.rn.gov.br/monitoramentovolumetrico/Monitoramento/GraficoEvolucaoVolumetricaDetalhada>. Acesso em: 02 jan. 2020.

SECRETARIA DE ESTADO DA SAÚDE PÚBLICA DO RIO GRANDE DO NORTE – SESAP. Coronavírus. **Boletins epidemiológicos**. 2019 a 2020. Disponível: <http://www.saude.rn.gov.br/>

SECRETARIA DE TRIBUTAÇÃO – SETRI. Pau dos Ferros. **Quantidade de domicílios por bairro de Pau dos Ferros**. 2018.

SHARIATI, M.; MESGARI, T.; KASRAEE, M.; JAHANGIRI-RAD, M. Spatiotemporal analysis and hotspots detection of COVID-19 using geographic information system (March and April, 2020). **Journal of Environmental Health Science and Engineering**, v.18, n.2, p.1499–1507, 2020. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00565-x>

SHARIFI, A.; KHAVARIAN-GARMSIR, R. A. The COVID-19 pandemic: impacts on cities and major lessons for urban planning, design, and management. **Science of The Total Environment**, v.749, n.20, 42391, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142391>

SILVA, A. A. da. **Diagnóstico do sistema de abastecimento de água da cidade de Pau dos Ferros-RN**. 55 f. Tese (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Pau dos Ferros, 2017.

SILVA, M. M. N. da; MARIANO, A.; LIMA, D. de F.; CARVALHO, C. C. A. Segregação socioespacial: os impactos das desigualdades sociais frente a formação e ocupação do espaço urbano. **Revista Monografias Ambientais**, v.5, n.1, 2016. <https://doi.org/10.5902/2236130821330>

SILVA, N. V. S. (2006) **As condições de salubridade ambiental das comunidades periurbanas da Bacia do Baixo Gramame: Diagnóstico e Proposição de Benefícios** 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2006.

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, p. 171-180, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000200007>

SILVA, R. C. P. da; COSTA, A. R. S.; EL-DEIR, S. G. JUCÁ, J. F. T. Correlação entre indicadores de resíduos sólidos domiciliares em Recife, Brasil. **AIDIS Revista de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica**, v.13, n.3, p.1048-1068, 2020. <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.3.6949>

SILVA, S. A.; GAMA, J. A. S.; CALLADO, N. H.; SOUZA, V. C. B. Saneamento básico e saúde pública na Bacia Hidrográfica do Riacho Reginaldo em Maceió, Alagoas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.22, n.4, p.699-709, 2017. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017146971>

SILVA, V. S. (2009) **Aplicação do Índice de Salubridade Ambiental em segmentos populacionais atendidos pelas unidades públicas de saúde da cidade de Ouro Branco – MG e sua comparação com indicadores de saúde** 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS – SNIRH. **Torre de comando da barragem de Pau dos Ferros**. Disponível em: https://portal1.snirh.gov.br/arquivos/semiarido/204res/Apodi_Pau_dos_Ferros.pdf. 2015. Acesso em: 24 ago. 2021.

SOARES, M de F.; MENEZES FILHO, F. C. M de. Bairros de classes econômicas distintas apresentam iguais Indicadores de salubridade ambiental? Estudo de caso: Patos de Minas – MG. **Holos Environment**, v.21, n.1, p.47-66, 2021. <https://doi.org/10.14295/holos.v21i1.12412>

SOARES, S. R. A.; BERNARDES, R. S.; CORDEIRO NETTO, O. de M. Relações entre saneamento, saúde pública e meio ambiente: elementos para formulação de um modelo de planejamento em saneamento. **Cadernos de Saúde Pública**, v.18, p.1713-1724, 2014. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2002000600026>

SOUTO, L. V.; LIMA, D. de F.; BARRETO FILHO, B. de F.; DANTAS, J. R. de Q. O Nordeste e a escassez de água: uma abordagem da microrregião de Pau dos Ferros/RN. **Anais do XVII ENANPUR**, v.17 n.1, 2017.

SOUTO, L. V.; SOUSA JÚNIOR, A. M. de, LIMA JÚNIOR, F. do O. de. Economia e aspectos da urbanização na microrregião de pau dos ferros, Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Assuntos Regionais e Urbanos**, v.5, n.2, p.182-198, 2019. <https://doi.org/10.18224/baru.v5i2.7564>

SOUZA, B. S.; ANDRADE, C. S. DE; TORRES, N. H.; FERREIRA, L. F. R. Proposta de um indicador de salubridade ambiental (ISA) para análise do saneamento no campus da Universidade Federal de Sergipe-São Cristóvão, Brasil. **Research, Society and Development**, v.10, n.1, e9110111515, 2021. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i1.11515>

SOUZA, M.C.C.A. (2010) **Análise das condições de Salubridade Ambiental intra-urbana em Santa Rita - PB** 88 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2010.

SOUZA, W. M.; BUSS, L. F.; CANDIDO, D. S.; CARRERA, J. P.; LI, S.; ZAREBSKI, A.; PEREIRA, R. H. M.; PRETE, J. R. C. A.; SOUZA-SANTOS, A. A.; PARAG, K. V.; BELOTTI M. C. T. D.; VINCENTI-GONZALEZ, M. F.; MESSINA, J.; SALES, F. C. S.; ANDRADE, P. S.; NASCIMENTO, V. H.; GHILARDI, F.; ABADE, L.; GUTIERREZ, B.; KRAEMER, M. U. G.; BRAGA, C. K. V.; AGUIAR, R. S.; ALEXANDER, N.; MAYAUD, P.; BRADY, O. J.; MARCILIO, I.; GOUVEIA, N.; LI, G.; TAMI, A.; OLIVEIRA, S. B.; PORTO, V. B.G.; GANEM, F.; ALMEIDA, W. A. F.; FANTINATO, F. F. S. T.; MACÁRIO, E. M.; OLIVEIRA, W. K.; NOGUEIRA, M. L.; PYBUS, O. G.; WU, C.; CRODA, J.; SABINO, E. C.; FARIA, N. R. Epidemiological and clinical characteristics of the early phase of the COVID-19 epidemic in Brazil. **Nature Human Behaviour**, v.4, p.856-865, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0928-4>

STAUBER, C.; ADAMS, E.; ROTHENBERG, R.; DAI, D.; LUO, R.; WEAVER, S.; PRASAD, A.; KANO, M.; HEATH, J. Measuring the impact of environment on the health of large cities. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.15, n.6, p.1216-1230, 2018. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph15061216>

TEIXEIRA, D. A.; PRADO FILHO, J. F.; SANTIAGO, A. D. F. Indicador de salubridade ambiental (ISA): os 17 anos da prática no Brasil. In: **Congresso ABES e Fenasan**, 2017, São Paulo.

TEIXEIRA, D. A.; PRADO FILHO, J. F.; SANTIAGO, A. D. F. Indicador de salubridade ambiental: variações da formulação e usos do indicador no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.23, n.3, p.543-556, 2018. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018170866>

TRAORÉ, D.; SY, I.; UTZINGER, J.; EPPRECHT, M.; KENGNE, I.; LO, B.; ODERMATT, Water quality and health in a Sahelian semi-arid urban context: an integrated geographical approach in Nouakchott, Mauritania. **Geospatial Health**, v.8, n.1, p.53-63, 2013. <https://doi.org/10.4081/gh.2013.54>

TRIOLA, Mário F. **Introdução à Estatística**. 7a. Ed. Rio de Janeiro: LTC,1999.

UNITED NATIONS, “**Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development**,” Resolution adopted by the General Assembly, 2015.

VALONES, G., DA SILVA, M. M. N. Gerenciamento de resíduos sólidos de restaurante popular no semiárido do Brasil. **Revista Geama**, v.4, n.4, p.20–25.

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. <https://doi.org/10.36659/dae.2022.015>

VALVASSORI, M. L.; ALEXANDRE, N. Z. Aplicação do Indicador de Salubridade Ambiental (ISA) para áreas urbanas. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, v.25, p.1-19, 2012.

VANDERLEY-SILVA, I.; VALENTE, R. A. COVID-19 spatialization by empirical Bayesian model in São Paulo, Brazil. **GeoJournal**, v.29, p.1-11, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10708-022-10780-8>

VIANA, A.P. (2013) **Relação dos Indicadores de Salubridade Ambiental com a saúde e sustentabilidade pública no município de Itapemirim/ES**. 200 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia de Saúde Pública e Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.

VINCENS, N.; EMMELIN, M.; STAFSTRÖM, M. The interplay of contextual layers: A multilevel analysis of income distribution, neighborhood infrastructure, socioeconomic position and self-rated health in Brazil. **Health & Place**, v.52, p.155-162, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2018.05.012>

WANG, B.; CHEN, T. Social progress beyond GDP: a Principal Component Analysis (PCA) of GDP and twelve alternative indicators. **Sustainability (Basel, Switzerland)**, v.14, n.11, p.6430, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14116430>

WANG, H., SHANGGUAN, L., WU, J., GUAN, R. Multiple linear regression modeling for compositional data. **Neurocomputing**, v.122, p.490–500, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2013.05.025>

WHITEHEAD, M.; TAYLOR-ROBINSON, D.; BARR, B. Poverty, health, and COVID-19. **BMJ (Online)**, v.372, p.n376-n376, 2021. <https://doi.org/10.1136/bmj.n376>

WOLF, J.; JOHNSTON, R.; HUNTER, P. R.; GORDON, B.; MEDLICOTT, K.; PRÜSS-USTÜN, A. A faecal contamination index for interpreting heterogeneous diarrhoea impacts of water, sanitation and hygiene interventions and overall, regional and country estimates of community sanitation coverage with a focus on low- and middle-income countries. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**. v.222, n.2, p.270-282, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.11.005>

WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **COVID-19**. Public health emergency of international concern (PHEIC). 2020. Disponível em: <https://digitallibrary.un.org/record/3859866> Acesso em: 04 mar. 2021.

_____. **Results of Round II of the WHO International Scheme to Evaluate Household Water Treatment Technologies**. WHO, Geneva (2019). Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/325896>

WU, F.; ZHUANG, Z.; LIU, H.; SHIAU, Y. Evaluation of Water Resources Carrying Capacity Using Principal Component Analysis: An Empirical Study in Huai'an, Jiangsu, China. **Water (Basel)**, v.13, n.18, p.2587, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13182587>

ZHOU, Q.; WANG, J.; TIAN, L.; FENG, L.; LI, J.; XING, Q. Remotely sensed water turbidity dynamics and its potential driving factors in Wuhan, an urbanizing city of China. **Journal of Hydrology (Amsterdam)**, v.593, p.125893, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125893>

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO

QUESTIONÁRIO <i>(APLICADO SOMENTE A 1 MORADOR POR DOMICÍLIO)</i>	
Entrevistador(a): _____ Código: _____ Data da entrevista: ____/____/____ _____ Hora da entrevista: _____	
Qual o endereço da residência?	
Rua: _____ Bairro: _____ Número: _____ Complemento: _____ Referência: _____	
BOM DIA/BOA TARDE, SOU DA UNIVERSIDADE, ESTOU REALIZANDO UM ESTUDO SOBRE O SANEAMENTO DA CIDADE DE PAU DOS FERROS. VOCÊ PODERIA RESPONDER ALGUMAS PERGUNTAS? SUA PARTICIPAÇÃO É DE FUNDAMENTAL IMPORTÂNCIA.	
1. Condição do abastecimento de água	
1.1. Sua residência está ligada à rede pública de água?	() sim () não () não sabe informar
1.2. Com que frequência possui água na rede?	() sempre () 1 vez por mês () 2 a 3 vezes por mês () nunca
1.3. Qual a principal forma de abastecimento?	() CAERN () poço artesanal () caminhão-tanque () rio/açude
1.4. Usa outra fonte complementar para o abastecimento?	() sim () não
1.5. Qual(is)?	() CAERN () poço artesanal () caminhão-tanque () rio/açude () nenhuma
2. Condição da coleta e tratamento dos esgotos domésticos	
2.1. Sua residência está ligada a rede pública de esgoto?	() sim () não () não sabe informar
2.2. Residência possui fossa?	() sim () não () não sabe informar
3. Condição dos resíduos sólidos	
3.1. Sua residência é atendida com o serviço de coleta de lixo?	() sim () não () não sabe informar
3.2. Com que frequência a coleta domiciliar do lixo ocorre?	() diária () 1 vez/semana () 2 a 3 vezes/semana () a cada 15 dias () 1 vez/mês () nunca
4. Condição do controle de vetores	
4.1. Há presença de mosquito/pernilongo na residência?	() sim () não () raro
4.2. Você ou outro morador da residência, já teve caso confirmado de dengue?	() sim () não () não sabe informar
4.3. (Se sim), quantos casos?	() uma pessoa () duas pessoas () acima de duas pessoas
4.4. Há quanto tempo?	() últimos 6 meses () último ano () há menos que 5 anos () há mais que 5 anos
4.5. Você ou outro morador da residência já teve caso confirmado de esquistossomose?	() sim () não () não sabe informar
4.6. (Se sim), quantos casos?	() uma pessoa () duas pessoas () acima de duas pessoas
4.7. Há quanto tempo?	() últimos 6 meses () último ano () há menos que 5 anos () há mais que 5 anos
4.8. Há presença de ratos?	() sim () não () raro
4.9. Você ou outro morador da residência já teve caso confirmado de leptospirose?	() sim () não
4.10. (Se sim), quantos casos?	() sim () não
4.11. Há quanto tempo?	() últimos 6 meses () último ano () há menos que 5 anos ()

	há mais que 5 anos
5. Condição socioeconômica	
5.1. Faixa etária	☐ 18 a 24 anos ☐ 25 a 29 anos ☐ acima de 30 anos ☐ 60 a 65 anos ☐ acima de 65 anos
5.2. Sexo	☐ masculino ☐ feminino
5.3. Escolaridade	☐ analfabeto ☐ alfabetizado ☐ fundamental ☐ médio ☐ superior ☐ pós-graduação
5.4. Renda familiar	☐ menor que 1 salário mínimo ☐ 1 salário mínimo ☐ entre 1 salário e 2 salários ☐ acima de 3 salários
5.5. Maiores de 18 anos desempregados	☐ nenhuma ☐ uma pessoa ☐ duas pessoas ☐ acima de duas pessoas
5.6. Quantidade de moradores na casa	☐ uma pessoa ☐ duas pessoas ☐ acima de duas pessoas

APÊNDICE B – ARTIGO 1

ARTIGO ORIGINAL

O uso de indicadores ambientais sob a perspectiva conjunta do saneamento e da saúde em países emergentes

Use of environmental indicators within a joint perspective of sanitation and health in emerging countries

• **Data de entrada:**

16/06/2020

• **Data de aprovação:**

26/08/2020

Gabriela Valones^{1,2*} | Sávila Gavazza¹ | Lourdinha Florencio¹ | Simone Machado Santos³ |
Merio Tekayuki Kato¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2022.015>

ORCID ID

Valones G  <https://orcid.org/0000-0002-3730-3692>
Gavazza S  <https://orcid.org/0000-0002-4433-7735>

Florencio L  <https://orcid.org/0000-0002-2186-7493>
Santos SM  <https://orcid.org/0000-0003-1086-9140>
Kato MT  <https://orcid.org/0000-0001-8733-5660>

Resumo

Este trabalho se refere à identificação, análise e síntese de estudos sobre o uso de indicadores ambientais e a sua finalidade, sob a perspectiva conjunta do saneamento e da saúde em países emergentes. Na revisão sistemática da literatura, por meio de um protocolo de pesquisa, a busca foi realizada no Scopus e Scielo por meio de descritores como "indicator" ou "index" e "environmental" e "sanitation" e "health". No total, 701 artigos foram recuperados, sendo 80 escolhidos para análise de texto completo, mas somente 25 sendo inclusos nesta revisão. Destes 25 artigos, 68% concentraram-se nas Américas, 24% em mais de um continente, 4% na África e 4% na Ásia. A conclusão é que os indicadores foram apontados como uma métrica eficaz para: diagnóstico do saneamento local (48%), tomada de decisão (48%), políticas públicas para priorização de investimentos na área sanitária (40%), planejamento urbano (36%), sensibilidade para retratar a realidade (28%) e instrumento de fácil uso (28%).

Palavras-chave: Indicador de Salubridade Ambiental. Indicador de Saneamento Ambiental. Indicador de Saúde Ambiental. Índice. Métrica. Síntese narrativa.

Abstract

This work refers to the identification, analysis and synthesis of studies on the use of environmental indicators and their purpose, from the joint perspective of sanitation and health in emerging countries. In the systematic review of the literature, using a research protocol, the search was carried out in Scopus and Scielo using descriptors such as "indicator" or "index" and "environmental" and "sanitation" and "health". In total, 701 articles were retrieved, 80 of which were chosen for full text analysis, but only 25 were included in this review. Of these 25 articles, 68% were concentrated in the Americas, 24% in more than one continent, 4% in Africa and 4% in Asia. The conclusion is that the indicators were pointed out as an effective metric for: diagnosis of local sanitation (48%), decision making (48%), public policies for prioritizing investments in the sanitary area (40%), urban planning (36%), sensitivity to portray reality (28%) and easy to use instrument (28%).

Keywords: Environmental Health Indicator. Environmental Sanitation Indicator. Environmental Health Indicator. Index. Metric. Narrative synthesis.

¹ Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental - Recife - Pernambuco - Brasil.

² Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Curso de Engenharia de Alimentos - Garanhuns - Pernambuco - Brasil.

³ Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste - Caruaru - Pernambuco - Brasil.

* **Autora correspondente:** gabivalones@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

As questões que envolvem o saneamento e a saúde ambiental são de conhecimento e interesse universal (WOLF et al., 2019; JUNG et al., 2017); consequentemente, prover condições sanitárias adequadas, integrando o conjunto de necessidades básicas à qualidade de vida humana, à salubridade ambiental e ao equilíbrio do meio, são medidas consideradas prioritárias nas agendas globais dos governos (LIMA, ARRUDA e SCALIZE, 2019; TEIXEIRA, PRADO FILHO e SANTO TIAGO, 2018).

O saneamento básico constitui-se como a soma dos serviços de abastecimento de água, de esgotamento sanitário, de coleta, tratamento e disposição final dos resíduos sólidos e de drenagem urbana (PEDROSA, MIRANDA e RIBEIRO, 2016; PEREIRA et al., 2015). Embora de complexa mensuração, sabe-se que há uma conexão estreita entre as condições do saneamento e a sua repercussão sobre a saúde das pessoas (SILVA et al., 2017; BÜHLER et al., 2014).

A saúde ambiental consiste na influência que os aspectos ambientais podem ter sobre o bem-estar e qualidade de vida do homem (STAUBER et al., 2018; PEREIRA et al., 2015; REGO et al., 2013; CALIJURI et al., 2009). A falta de planejamento urbano adequado no crescimento das urbes, acrescida da fragilidade dos sistemas públicos de saneamento básico, favorece as condições para que um ambiente se torne insalubre (ROCHA, RUFINO e BARROS FILHO, 2019; CALIJURI et al., 2009).

A salubridade ambiental define-se como o estado de higidez e a qualidade do meio capaz de inibir, prevenir ou impedir a veiculação de doenças pelo ambiente, bem como de promover o progresso das condições oportunas à saúde dos indivíduos do meio urbano e rural (ROCHA, RUFINO e BARROS FILHO, 2019; TEIXEIRA, PRADO FILHO e SANTIAGO, 2018; SILVA et al., 2017).

Os países emergentes, de forma peculiar, apresentam deficiências nítidas na cobertura e na oferta das infraestruturas do saneamento ambiental, como também verbas limitadas para investimento no setor, apesar das repercussões positivas na saúde pública serem de conhecimento geral (JUNG et al., 2018; BÜHLER et al., 2014; REGO et al., 2013; CARNEIRO et al., 2012; SILVA, NASCIMENTO e SILVA, 2008).

Por isso, a hierarquização do emprego dos recursos disponíveis em saneamento ambiental é essencial para a maximização das melhorias sanitárias associadas (TEIXEIRA, PRADO FILHO e SANTIAGO, 2018; BATISTA e SILVA, 2006). Para mensurar a qualidade de vida e a situação do saneamento de determinada localidade, os indicadores ou índices podem ser empregados (LIMA, ARRUDA e SCALIZE, 2019; PEREIRA et al., 2015) com bastante confiabilidade.

Os indicadores têm a função de demonstrar uma realidade específica que remetem a certa complexidade (STAUBER et al., 2018; BÜHLER et al., 2014), por meio de dados acumulados que sintetizam informações sobre saúde, meio ambiente e desenvolvimento, os quais podem gerar índices (ROCHA, RUFINO e BARROS FILHO, 2019; BERNARDES, BERNARDES e GÜNTHER, 2018; CALIJURI et al., 2009; BATISTA e SILVA, 2006). Para o progresso na saúde coletiva e no bem-estar das cidades, é necessário um melhor rastreamento e compreensão do papel dos indicadores ambientais (STAUBER et al., 2018).

Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão sistemática para identificar, analisar e sintetizar os resultados de estudos nacionais e internacionais acerca do uso de indicadores ambientais, sob a perspectiva integrada do saneamento e da saúde em países emergentes. Adicionalmente, o trabalho visa apresentar os indicadores mais utilizados nas pesquisas, a finalidade do uso e as principais lacunas de conhecimento a serem preenchidas com futuros estudos.

2 METODOLOGIA

2.1 Estratégia de pesquisa

O processo usado para elaboração da revisão sistemática é originário de um ajuste de modelos já desenvolvidos por Kitchenham (2004) e Biolchini (2005). A execução da revisão contou com cumprimento de quatro etapas sequenciais para elegibilidade dos artigos: (i) protocolo de revisão (elaboração da pergunta de pesquisa), (ii) condução da revisão, (iii) avaliação e extração dos dados, e (iv) sumarização dos resultados.

2.2 Protocolo da revisão

A fase inicial consistiu na elaboração e uso de um formulário de protocolo de revisão para definir as questões norteadoras da pesquisa: (i) objetivo da revisão: identificar, analisar e sintetizar os resultados de estudos acerca do uso de indicadores ambientais sob a perspectiva integrada do saneamento e da saúde; (ii) questão a ser respondida: qual a finalidade de uso dos indicadores ambientais aplicados ao saneamento e saúde?; (iii) foco: indicadores ambientais de saneamento e saúde; (iv) intervenção: quais os indicadores ambientais aplicados ao saneamento e saúde?; (v) controle: revisões sistemáticas e trabalhos anteriores na área; (vi) população: artigos que propõem ou aplicam indicadores ambientais ao saneamento e saúde; (vii) resultados: visão abrangente por temática/área dos usos e finalidades de indicadores ambientais ao saneamento e saúde; (viii) aplicação: na área do saneamento e saúde ambiental, especificamente para pesquisadores de países em desenvolvimento como o Brasil, e

orientação para tomada de decisão pelos gestores de políticas públicas.

2.3 Condução da revisão

O processo completo para a revisão ocorreu entre agosto de 2019 e fevereiro de 2020, por um período de seis meses. As pesquisas foram realizadas por meio dos buscadores nas plataformas Scopus e Scielo.

O Scopus foi selecionado como base de dados para a busca de artigos científicos em decorrência de seu caráter multidisciplinar, internacional e do amplo volume de publicações indexadas, revisadas por pares, desde 1823 até a presente data. O Scielo também foi escolhido por reunir, maioritariamente, as pesquisas da América Latina.

No levantamento das publicações nas duas bases, consideraram-se todos os anos e áreas temáticas, nas quais nos títulos, nas palavras-chave e nos resumos, apresentassem os descritores "indicator" ou "index" e "environmental" e "sanitation" e "health" (indicador ou índice e ambiental e saneamento e saúde). Tais buscadores recuperaram o maior número de artigos, em ambas as bases de dados.

Os termos foram refinados entre aspas para que os trabalhos recuperados fossem restritos a tais palavras. Os descritores foram usados na língua inglesa, por ser a predominante nas publicações científicas internacionais e porque as publicações em português e espanhol, em geral, apresentam palavras-chave em inglês. As informações que delimitam a condução da revisão são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Condução de revisão para execução da pesquisa

Tipo	Descrição
Critérios de seleção de fontes	Consulta de artigos disponível por meio da web
	Possibilidade de buscadores com uso de palavras-chave
	Garantia de resultados exclusivos mediante a busca de um mesmo conjunto de palavras-chave
Mecanismo de busca de fonte	Acesso das fontes de forma digital (por meio da web)
	A busca manual não foi considerada para uso nessa revisão
Fonte	Scopus e Scielo
Período de busca	30 de agosto de 2019 e 29 de fevereiro de 2020
Palavras-chave	Indicador, índice, ambiental, saneamento, saúde
Operadores booleanos	ou, e
Descritores	("indicator" ou "index") e "environmental" e "sanitation" e "health")
Tipologia dos estudos	Artigos
Idioma dos artigos	Inglês, português e espanhol. A língua inglesa foi escolhida por se tratar de um idioma universal da pesquisa científica, enfaticamente no âmbito da área-objeto de estudo. As línguas portuguesa e espanhola também foram selecionadas para esta revisão, para contemplar os trabalhos de pesquisadores latino-americanos

Fonte: Adaptado de Mafra e Travassos (2005).

2.4 Avaliação e extração dos dados

Na avaliação dos artigos consideraram-se aspectos que, se atendidos (critérios de inclusão), permitiam a inclusão do artigo; se não atendidos (critérios de exclusão), o artigo era eliminado da listagem de trabalhos que compuseram esta revisão.

Os critérios de inclusão previstos exigiram que (i) os artigos precisariam estar disponíveis na web; (ii) os artigos deviam apresentar textos completos dos estudos em formato eletrônico; (iii) os artigos necessitariam estar escritos em inglês, português ou espanhol; e (iv) os artigos abordassem o uso de indicadores ambientais na perspectiva do saneamento e da saúde.

Os critérios de exclusão consistiram na rejeição (i) dos artigos que não atendessem aos critérios de inclusão; (ii) de uma das versões de artigos duplicados, quando qualquer das versões estivesse em uma ou em ambas as bases.

O refino dos resultados do levantamento foi realizado por publicações de periódicos nacionais e internacionais. Na extração de dados, para cada estudo avaliado, foram documentados os autores, ano, título, idioma, categoria/indicador, método, subdivisão, área de estudo, tipo de pesquisa e periódico de publicação.

2.5 Sumarização dos resultados

No total, 701 artigos foram recuperados, sendo 670 do Scopus e 31 do Scielo. Após a verificação de título, resumo e aplicados os critérios de inclusão e exclusão, 80 foram escolhidos para análise de texto completo, dos quais 65 do Scopus e 15 do Scielo. Ao todo, 10 artigos estavam duplicados entre si, 4 do Scopus e 6 do Scielo.

Em seguida, realizada a leitura integral dos 80 artigos, foram selecionados para esta revisão 25 trabalhos, os quais tiveram os seus dados extraídos e analisados, conforme as indicações prognosticadas no protocolo de revisão. Dos artigos incluídos na revisão, 10 foram recuperados, concomitantemente, por ambas as bases; 14, somente pelo Scopus; e 1, apenas pelo Scielo.

Os achados foram relatados por meio de síntese narrativa estruturada, que incluiu a finalidade de uso do indicador, as variáveis e subindicadores inseridos na composição do indicador; como também, a contribuição do estudo à comunidade científica. Como uma grande variabilidade entre os indicadores era prevista e foi validada nesta revisão, nenhuma meta-análise foi realizada.

O escopo da pesquisa em verificar quais eram os indicadores e a sua finalidade de utilização, conforme abordados nos trabalhos analisados,

permitiu um agrupamento dos dados. No entanto, em face da grande quantidade de artigos selecionados, foi necessário estabelecer um critério que pudesse agregá-los de uma forma mais abrangente.

Assim, mesmo que todos os artigos listados abordassem indicadores ambientais na perspectiva integrada do saneamento e da saúde (conforme critérios de seleção e inclusão), optou-se por agrupá-los em três categorias de acordo com a área de aplicação predominante: (i) Indicador de Salubridade Ambiental (I_{SA}), (ii) Indicador de Saneamento Ambiental (I_{SAN}); e (iii) Indicador de Saúde Ambiental (I_{SAU}).

Esta revisão envolveu um protocolo predeterminado indutivo, e não exaustivo, e se beneficiou do debate colaborativo. Este material reuniu conteúdo de referência publicado principalmente nas áreas de ciências ambientais, saneamento, saúde ambiental, saúde pública e engenharia ambiental. Nenhum campo foi excluído intencionalmente.

3 RESULTADOS

Os 25 artigos incluídos nesta revisão sistemática da literatura foram selecionados a partir dos critérios de seleção estabelecidos. Os achados desses estudos se encontram resumidos nas Tabelas 2, 3 e 4, e se referem ao uso dos indicadores ambientais na perspectiva conjunta do saneamento e saúde obtidos nos anos de 1999, 2002, 2005 a 2009, 2012 a 2019.

3.1 Indicador de Salubridade Ambiental (I_{SA})

Nove artigos foram inseridos na categoria ISA, que avalia a salubridade ambiental do meio, por meio do uso original ou de uma adaptação do ISA para determinada localidade.

A totalidade dos trabalhos com o indicador ISA foi publicada, em português, no periódico Engenharia Sanitária e Ambiental entre os anos de 2006 e 2019. O tipo de pesquisa mais comum nos artigos foi o estudo de caso (56%). Também foram empregados o estudo qualitativo (11%), o estudo experimental (11%), o estudo epidemiológico transversal (11%) e o estudo documental descritivo-exploratório (11%).

Os resultados, apresentados a seguir, informam a mensuração da salubridade ambiental a partir do uso do ISA, em localidades distintas no Brasil. Os achados ainda apresentam a influência dos indicadores de primeira ordem (indicador de abastecimento de água, indicador de esgotamento sanitário, indicador de manejo dos resíduos sólidos, indicador de drenagem urbana) no resultado do valor do ISA para as áreas avaliadas.

O esgotamento sanitário e os resíduos sólidos foram determinantes para a baixa salubridade. Os locais com maior déficit econômico e desigualdade social apresentaram os piores resultados em salubridade. Os menores valores de salubridade se correlacionaram com os lugares de maior ocorrência de doenças ocasionadas pelo saneamento inadequado. A dificuldade de acesso aos dados de saúde e saneamento, particularmente na escala de bairro, foi uma limitação identificada (Tabela 2).

Tabela 2 - Uso dos indicadores ISA encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão.

Nº.	Autor/ Ano	Método	Tipo Subdivisão/ Área de estudo	Resultados
1	Rocha et al., 2019	Adaptação do $I_{SA/CONESAN}$ para $I_{SA/CG}$	Sector censitário/ Campina Grande na Paraíba, Brasil	Os setores com os valores mais elevados do $I_{SA/CG}$ estão localizados na área nobre da cidade de Campina Grande, enquanto os bairros que demonstraram os menores valores estão nas regiões periféricas. O esgotamento sanitário e o aspecto socioeconômico destacaram-se como as áreas mais deficientes do município e apresentaram os piores resultados entre os indicadores que integram o $I_{SA/CG}$.
2	Lima et al., 2019	Adaptação do $I_{SA/CONESAN}$	Município/21 municípios diversos em Goiás, Brasil	Os indicadores de primeira ordem do $I_{SA/CONESAN}$ que mais interferiram na salubridade foram os de esgotamento sanitário e resíduos sólidos com 9,5% dos municípios salubres, 28,6% com média salubridade e 61,9% com baixa salubridade.
3	Bernardes et al., 2018	Adaptação do $I_{SA/CONESAN}$ para o $I_{SA/DR}$	Domicílio/ Oito comunidades ribeirinhas da Amazônia, Brasil	O ISA/DR teve sensibilidade suficiente para mensurar a diferenciação da salubridade ambiental das moradias nas comunidades avaliadas, apesar de estas apresentarem similaridade nas configurações socioeconômicas, culturais e ambientais.
4	Teixeira et al., 2018	Levantamento bibliográfico do uso/adaptação do $I_{SA/CONESAN}$	Bacia hidrográfica, município, bairro, setor censitário, domicílio/Locais diversos do Brasil	As regiões Nordeste e Sul do país detiveram a maior parcela de trabalhos realizados, sendo dissertação de mestrado (fonte de origem dos dados) e domicílio (subdivisão de estudo) as formas mais recorrentes. As pesquisas avaliadas pelos autores apontaram a utilização média de seis indicadores de primeira ordem para aplicação/adaptação do $I_{SA/CONESAN}$. Entre esses, o $I_{SA/RE}$, o I_{SA} e o $I_{SA/RS}$ foram usados nos 60 estudos examinados.
5	Silva et al., 2017	Adaptação do ISA/CONESAN por Gama ($I_{SA/GAMA}$)	Sector censitário/ Bacia hidrográfica do riacho Reginaldo em Maceió, Alagoas, Brasil	O maior número de patologias conexas ao saneamento foram casos de dengue, hepatites e leptospirose, ocorrendo principalmente nos bairros Centro, Jacintinho e Mangabeiras. A correlação entre as doenças e os indicadores do $I_{SA/GAMA}$ foi confirmada, mas não foi aceitável, devido à diferença na espacialização entre os dados de saúde (por bairro) e a prestação dos serviços de saneamento básico (por setor censitário).
6	Pedrosa et al., 2016	Adaptação do $I_{SA/CONESAN}$ para o $I_{SA/NH}$	Indivíduo/ Área de interesse social urbanizada em Novo Horizonte, Campina Grande, na Paraíba, Brasil	Não foi identificado nenhum caso de insalubridade para o I_{SA} e o I_{SA} e na consulta popular esses foram os indicadores que obtiveram maior taxa de satisfação. Na totalidade dos cenários examinados, os indicadores afins ao quesito socioeconômico mostraram os piores resultados, o que evidencia a necessidade de investimentos na área social. Os resultados também revelaram que 10% da população ainda vive em situação de insalubridade ambiental.
7	Calijuri et al., 2009	Uso de escores a partir de I_{SA}	Bairro, domicílio/ Área urbana em Tucuruí, no Pará, Brasil	Em três áreas estudadas constatou-se que mais de 97% das residências não são contempladas com rede de esgotamento sanitário. A fossa seca foi a medida paliativa mais recorrente nas três localidades; a disposição final dos resíduos sólidos foi o lixo da cidade; e a morbidade por diarreia foi a mais prevalente. Avaliou-se que a situação de salubridade ambiental nas três áreas não é apropriada ao favorecimento da saúde.
8	Silva et al., 2008	Adaptação do $I_{SA/CONESAN}$ para o $I_{SA/JP}$	Comunidade/ Comunidades periurbanas na bacia do Rio Gramame, litoral sul do estado da Paraíba, Brasil	Três das cinco comunidades periurbanas avaliadas obtiveram condição de salubridade ambiental aceitável, ao mesmo tempo que as demais alcançaram posição de média salubridade ambiental, quando 36,68% do valor total de recursos financeiros foram aplicados em melhorias no saneamento.
9	Batista & Silva, 2006	Adaptação do $I_{SA/CONESAN}$ para o $I_{SA/JP}$	Bairro/João Pessoa, na Paraíba, Brasil	Os melhores resultados do $I_{SA/JP}$ evidenciaram, a seguinte classificação de salubridade, em ordem decrescente: Cabo Branco, Tambaú, Jardim Oceania, Manalra, Penha, Ponta do Seixas e Bessa, qualificados como salubre, enquanto Altiplano, Cabo Branco e Aeroclube, obtiveram condição de média salubridade.

Legenda: $I_{SA/CONESAN}$ = Indicador de Salubridade Ambiental do Conselho Estadual de Saneamento; $I_{SA/CG}$ = Indicador de Salubridade Ambiental de Campina Grande; I_{SA} = Indicador de Salubridade Ambiental; $I_{SA/DR}$ = Indicador de Salubridade Ambiental para Domicílio Rural; I_{AB} = Indicador de Abastecimento de Água; I_{ES} = Indicador de Esgotamento Sanitário; I_{RS} = Indicador de Resíduos Sólidos; $I_{SA/NH}$ = Indicador de Salubridade Ambiental de Novo Horizonte; I_{SA} = Indicadores de Saneamento e Saúde Ambiental; $I_{SA/JP}$ = Indicador de Salubridade Ambiental de João Pessoa.

Fonte: Autores (2020).

3.2 Indicador de Saneamento Ambiental (I_{SAN})

Oito artigos foram inseridos na categoria ISAN, que emprega indicadores compostos de informações sobre o saneamento, para mensurar as condições do meio e o impacto na saúde humana. Os resultados, abaixo informados, mostram a

aplicação dos indicadores ISAN e os fatores que determinaram a situação do saneamento ambiental no lugar avaliado. Entre esses fatores foi citada a ausência de informações do setor, que representa uma barreira para análise confiável do saneamento local (Tabela 3).

Tabela 3 – Uso dos indicadores ISAN encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão.

Nº.	Autor/Ano	Método	Tipo Subdivisão/Área de estudo	Resultados
10	Wolf et al, 2019	Meta regressão com combinação do índice F_{AECI} com W_{ASH}	Domicílio, ambiente de intervenção/ Países de baixa e média renda do mundo	O índice F_{AECI} mostrou que a baixa eficácia das intervenções para a redução de diarreia resulta em índices elevados de contaminação fecal nas comunidades avaliadas e que a maior parcela das pessoas no mundo reside em locais com cobertura deficiente de saneamento e, consequentemente, está exposta à contaminação fecal.
11	Alagidede & Alagidede, 2016	Análise dos padrões de séries temporais dos indicadores I_{APES}	País/Diferentes países da África Ocidental	Os indicadores I_{APES} mostraram que houve melhorias no setor de água e saneamento de 2000 a 2014; no entanto, o progresso foi brando nos seis países da África Ocidental avaliados (Chade, Níger, Nigéria, Mauritânia, Serra Leoa e Togo). A meta de saneamento aceitável dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio não foi alcançada por nenhum dos países africanos estudados.
12	Pereira et al., 2015	Desenvolvimento de aplicação do I_{OSBU}	Área urbana de município/Cidades paranaenses com mais de 100.000 habitantes, Brasil	O indicador I_{OSBU} foi superior a 70,0 para 50% das cidades analisadas. Arapongas, Campo Largo, Cascavel, Curitiba, Foz do Iguaçu, Guarapuava, Londrina, Maringá, Pinhais, Ponta Grossa, São José dos Pinhais e Toledo obtiveram uma boa qualidade de saneamento básico, com valores acima de 60,0. Em 2006, Londrina apresentou o maior valor encontrado para o I_{OSBU} (78,3), e Colombo, o menor (49,8). Os autores verificaram que a disponibilidade deficiente de informações sobre o saneamento limita a real avaliação da situação do setor.
13	Rego et al., 2013	Análise de cluster dos E_{SH}	Bairro/Salvador, na Bahia, Brasil	O tipo de pavimentação e habitação foram os componentes que apresentaram os piores resultados para as 923 seções de rua visitadas; já o setor de limpeza urbana obteve os melhores resultados. As informações obtidas mostraram a utilidade dos indicadores para direcionar o investimento público nas áreas com maior deficiência em saneamento.
14	Andreazzi et al, 2007	Bases de dados Medline, Scielo e LILACS dos I_{SS}	Estudos publicados/ Países do mundo	A diarreia como determinante de saúde e a qualidade da água como determinante de saneamento foram as variáveis mais frequentes (59%) na composição dos indicadores dos 17 estudos avaliados de 1995 a 2004.
15	Concepcion Rojas et al., 2005	Método de avaliação rápida usando clusters dos I_{SAO}	Indivíduo/ Municípios em Havana, Cuba	A deficiência no saneamento ambiental nas casas, quadras e locais de trabalho constitui fator de risco essencial no surgimento de focos de <i>Aedes aegypti</i> , sendo a intermitência no abastecimento de água e a existência de micro áreas de disposição irregular de lixo, os fatores mais expressivos. O saneamento ambiental das quadras verificadas foi regular. Nas moradias houve progresso das condições sanitárias; no entanto, continuidade de ações prioritárias e aumento da participação popular são necessários a permanência da prevenção e do controle da dengue.
16	Ferreira & Cunha, 2005	Avaliação do uso do I_{SAUU}	Município/Rio de Janeiro, no Rio de Janeiro, Brasil	O indicador I_{SAUU} apontou boa qualidade da água no município do Rio de Janeiro, com valores de 58,99 e 59,57 em 2000 e 2001, respectivamente, em escala de zero a 19 (péssima), 20 a 36 (ruim), 37 a 51 (aceitável), 52 a 79 (boa) e 80 a 100 (ótima).
17	Rodríguez et al., 1999	Uso de dados secundários a partir dos I_{SAOO}	Município/Plaza de la Revolución, em Havana, Cuba	As carências sanitárias observadas pelos indicadores I_{SAOO} foram determinadas pela qualidade imprópria da água potável e pelo controle insuficiente do manejo de resíduos sólidos e líquidos.

Legenda: W_{SH} = Water, Sanitation and Hygiene; F_{AECI} = Faecal Contamination Index (Índice de Contaminação Fecal); I_{APES} = Indicadores de Água Potável e Saneamento Básico; I_{OSBU} = Indicador de Qualidade de Saneamento Básico Urbano; E_{SH} = Environmental Indicators of Intra-urban Heterogeneity (Indicadores Ambientais de Heterogeneidade Intra-urbana); I_{SS} = Indicadores de Saneamento e Saúde; I_{SAO} = Indicadores de Saneamento Ambiental e Dengue; I_{SAUU} = Índice de Sustentabilidade da Água de Uso Urbano; I_{SAOO} = Indicadores de Saneamento Ambiental e Doenças Digestivas.

Fonte: Autores (2020).

Dois artigos com ISAN, dois foram publicados de 1999 a 2019, na Revista Cubana de Higiene y Epidemiología; dois, na Revista Panamericana de Salud Pública e os demais no International Journal of Hygiene and Environmental Health, Public Health, Revista em Agronegócio e Meio Ambiente e Cadernos de Saúde Pública. O idioma de publicação usado nos artigos foi inglês (37,5%), português (37,5%) e espanhol (25%). O tipo de pesquisa mais comum foi

o estudo documental descritivo-exploratório (62,5%), seguido do estudo de caso (25%) e do estudo ecológico (12,5%).

3.3 Indicador de Saúde Ambiental (I_{SAUU})

Oito artigos foram inseridos na categoria ISAU, que utiliza indicadores ambientais, com ênfase na temática da saúde ambiental (Tabela 4).

Tabela 4 – Uso dos indicadores ISAU encontrados nos 25 artigos selecionados para a revisão.

Nº.	Autor/ Ano	Método	Tipo Subdivisão/ Área de estudo	Resultados
18	Jung et al., 2018	Múltiplas exposições e efeitos múltiplos dos C_{EH}	Indivíduo/ Pequenos estados insulares em desenvolvimento do Pacífico	Os indicadores C_{EH} usados geraram múltiplas exposições e efeitos diversos da relação exposição-saúde infantil no contexto dos Objetivos do desenvolvimento Sustentável. A falta da água, a carência das instalações sanitárias e o tratamento impróprio do esgoto foram os riscos ambientais aos pequenos estados insulares em desenvolvimento. Os principais resultados de saúde mostraram que a progressão da saúde ambiental das crianças precisa de estudo complementar, pois parte dos dados não estava disponível ou não existia.
19	Stauber et al., 2018	Desenvolvimento e aplicação do U_{HI}	Cidade, domicílio/ Lagos e Tegucigalpa, na Nigéria e Honduras	A subtração de determinantes ambientais no indicador U_{HI} como abastecimento de água canalizado para as residências, saneamento e uso domiciliar de biomassa como combustível resultou em uma modificação acentuada no nível de saúde e na classificação das 57 maiores cidades do mundo avaliadas. Por outro lado, as variáveis, saúde da mulher ou vacinas na infância não alteraram o ranqueamento das urbes analisadas.
20	Jung et al., 2017	Revisão sistemática de C_{EH}	Indivíduo/ Países de baixa e média renda da Ásia	A revisão sistemática evidenciou que as formas conceituais recorrentes para a elaboração dos indicadores C_{EH} foram os métodos D_{PSEA} e M_{MSE} e que os estudos consultados de pesquisas anteriores foram, em maioria, desenvolvidos em países de média ou alta renda.
21	Monteiro et al., 2015	Uso de dados secundários a partir dos B_{SDI}	Domicílio/ Ananindeua, no Pará, Brasil	A associação entre os indicadores de saneamento básico, as posições socioeconômicas e a situação do suprimento hídrico com episódios de malária não foram confirmadas. Os índices anuais de parasitas delineados para os anos de 2004 a 2013 classificam Ananindeua como um local sem riscos. Contudo, em 2013 foi observado um surto de 142 casos, o que evidencia a necessidade de promover práticas de prevenção, vigilância e controle.
22	Buhler et al., 2014	Modelo teórico Geo Saúde na aplicação dos I_{SAM}	Município/ Municípios diversos, Brasil	Os indicadores de saúde-ambiente para identificar morbidade e mortalidade por diarreia em menores de um ano mostraram que, na região Norte, as hospitalizações e mortes por agravo diarreico agudo foram mais de cinco vezes superiores às das regiões Sudeste e Sul. A relação causa-consequência da falta de coleta de lixo e o internamento por diarreia infantil foi confirmada.
23	Carneiro et al., 2012	Construção de indicadores a partir do I_{EH}	Estados e países/ Estados do Brasil e países do mundo	A combinação do IDH com indicadores sociais, econômicos, ambientais e de saúde mostrou que a qualidade de vida e ambiental no Brasil dependia da melhora dos indicadores de saneamento; e que a situação de desigualdade brasileira correspondeu à de países como Laos, Iêmen, Madagascar e Haiti.
24	Cronin et al., 2008	Abordagem dupla para aplicação dos I_{ASIN}	Domicílio/Campos de refugiados em diferentes países do mundo	O panorama dos indicadores básicos de água e saneamento de 2003-2006 indicou que a reduzida disponibilidade de água por habitante foi fator determinante para a classificação do saneamento como ruim. Os aglomerados humanos que informaram um episódio de diarreia nas últimas 24 horas recebiam quantidade de água 26% menor do que aquelas sem nenhum caso.
25	Cifuentes, 2002	Uso de S_{IG} para espacialização de E_{HI}	Domicílio/ Cidade do México, México	O uso do E_{HI} apontou que o risco de diarreia em crianças que residiam em moradias alugadas foi maior em comparação com o daquelas que viviam em casas próprias. O perigo também foi mais elevado em habitações que possuíam latrina e outras infraestruturas de saneamento deficientes, do que aquelas ligadas à rede coletora de esgoto.

Legenda: C_{EH} = Children's Environmental Health Indicators (Indicadores de Saúde Ambiental Infantil); U_{HI} = Urban Health Index (Índice de Saúde Urbana); D_{PSEA} = Driving-Pressure-State-Exposure-Effect-Action (Condução-Pressão-Estado-Exposição-Efeito-Ação); M_{MSE} = Multiple-Exposures-Multiple-Effects (Múltiplas Exposições e Múltiplos Efeitos); B_{SDI} = Basic Sanitation and Socioeconomic Indicators (Indicadores Sanitários Básicos e Socioeconômicos); I_{SAM} = Indicadores de Saúde e Ambiente; I_{EH} = Indicador de Desenvolvimento Humano; S_{IG} = Sistema de Informações Geográficas; E_{HI} = Environmental Health Indicator (Indicador de Saúde Ambiental); I_{ASIN} = Indicadores de Água, Saneamento, Saúde e Nutrição; E_{HI} = Environmental Health Indicators (Indicadores de Saúde Ambiental).

Fonte: Autores (2020).

Os artigos com ISAU foram publicados, de 2002 a 2018, nos seguintes periódicos: International Journal of Environmental Research and Public Health (25%), Annals of Global Health (25%), Journal of Water and Health (25%), International Journal of Environmental Health Research (25%), Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical (25%), Ciência e Saúde Coletiva (25%) e Cadernos de Saúde Pública (25%).

O inglês foi o idioma de publicação mais frequente nos artigos (75%). O português foi utilizado em 25% das publicações. Não houve artigos publicados em espanhol. O tipo de pesquisa mais citada foi o estudo documental descritivo-exploratório (37,5%). O estudo de caso, o estudo qualiquantitativo, o estudo experimental, o estudo ecológico e o estudo observacional e descritivo somam, cada um, isoladamente, 12,5% de ocorrência nos artigos.

Os resultados mostraram que, entre os indicadores I_{SAU} avaliados, foi identificada a relação da ocorrência de doenças feco-orais, particularmente a diarreia, associada ao saneamento deficiente nas localidades estudadas.

O público-alvo de maior análise pelos I_{SAU} foi o infantil. A questão geográfica territorial também foi considerada para avaliar a prevalência de hospitalizações e mortes por agravo diarreico agudo em crianças. Os aspectos de maior impacto negativo, nos resultados dos indicadores ISAU, foram a falta ou má qualidade da água para uso humano, a carência de acesso às instalações sanitárias e a falta de coleta de resíduos sólidos.

3.4 Distribuição espacial dos indicadores ISA, ISAN e ISAU

Dos 25 artigos dessa revisão, a América do Sul concentrou o maior número de trabalhos (60%), com 14 estudos dos indicadores desenvolvidos no Brasil. O I_{SA} foi o tipo de indicador dominante, usado em nove manuscritos, quatro deles no estado da Paraíba.

Na América do Norte e na África, o I_{SAN} foi a categoria de indicador mais aplicada, com dois estudos realizados, um em Cuba, na cidade de Havana e um em diversos países africanos ocidentais. Na Ásia, o I_{SAU} foi empregado em países de baixa e média renda. Europa e Oceania não tiveram artigos recuperados nesta revisão sistemática.

Todos os nove estudos I_{SA} foram realizados no Brasil, e a maior parte ocorreu em municípios

da região Nordeste (56%), como Paraíba (44%) e Alagoas (11%). As regiões Norte, Centro-Oeste e Sul concentraram 11% dos artigos, cada uma. A região Sudeste não teve artigos recuperados nesta revisão, e um artigo foi aplicado em mais de uma região brasileira.

A maior parcela dos oito estudos pertencentes à categoria I_{SAN} (62%) foi desenvolvida nas Américas (37% no Brasil e 25% em Cuba). Os outros três artigos foram desenvolvidos em vários países no mundo (13%), em um conjunto de nações africanas (13%) e em países de baixa e média renda que estão localizados nas Américas, Ásia e África (13%).

A distribuição espacial dos indicadores utilizados nos 25 estudos selecionados para a revisão sistemática foi realizada. Os artigos estão representados por suas respectivas categorias (ISA, ISAN ou ISAU) e em cada categoria estão descritos os referidos indicadores. No caso dos estudos que foram realizados em mais de um lugar, simultaneamente, um local foi selecionado para obtenção da coordenada geográfica. A espacialização dos indicadores é apresentada na Fig. 1.

Os oito estudos em que se aplicou o ISAU foram, majoritariamente, executados nas Américas (38% no Brasil e 12% no México), na África (12% na Nigéria e Honduras) e na Ásia (12% em países de baixa e média renda). Uma publicação envolveu campos de refugiados em diferentes países do mundo, e outra, pequenos estados em estágio de desenvolvimento econômico sustentável no Pacífico.

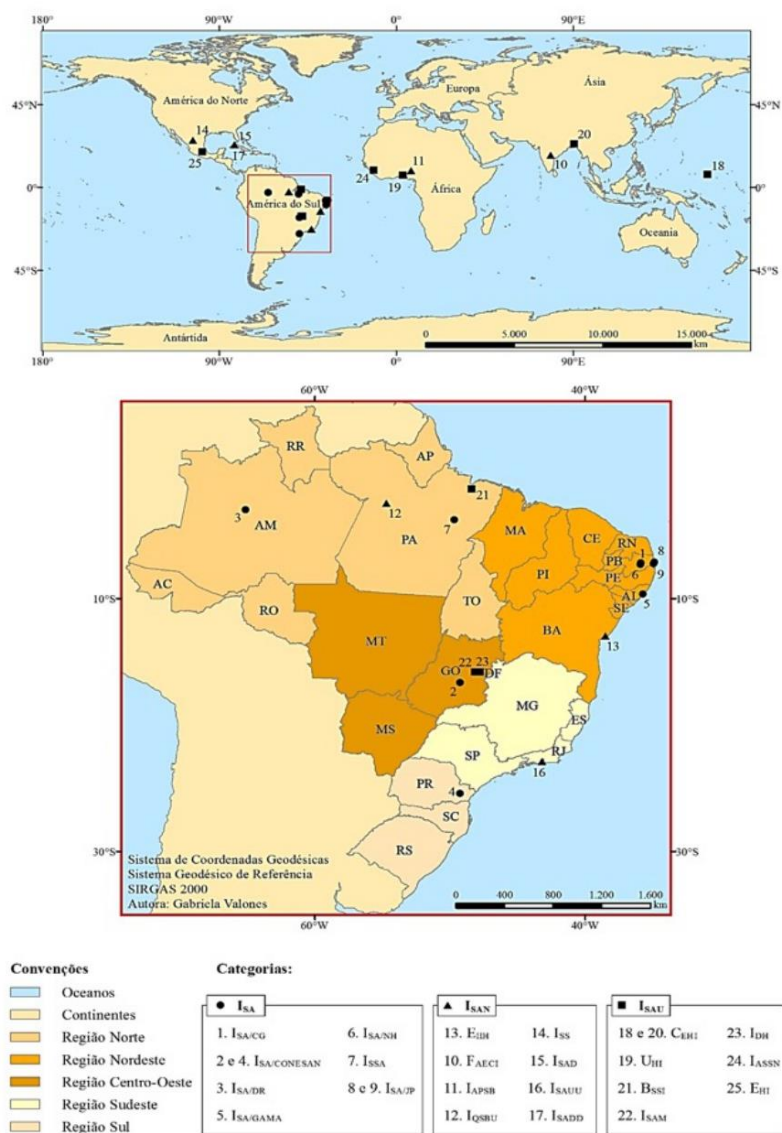


Figura 1 - Distribuição espacial dos indicadores ISA, ISAN e ISAU.

Fonte: Autores (2020).

4 DISCUSSÃO

Os 25 artigos avaliados utilizaram vários indicadores como ferramentas para fundamentar os estudos sob diversos ângulos correlacionados com saneamento, ambiente e saúde, com o objetivo de: (i) desenvolver ações e realizar o planejamento ambiental (FERREIRA e CUNHA, 2005), (ii) analisar a qualidade do meio ambiente urbano (STAUBER et al., 2018), (iii) medir os principais riscos à saúde geral das comunidades urbanas (JUNG et al., 2017), (iv) monitorar a complexa interação entre o meio ambiente e a saúde das crianças (BÜHLER et al., 2014), (v) comparar as condições de saneamento em diferentes momentos no tempo (REGO et al., 2013), (vi) ajudar a hierarquizar as áreas prioritárias e definir os valores investidos que impactariam positivamente a conjuntura da salubridade ambiental local (SILVA, NASCIMENTO e SILVA, 2008), (vii) avaliar as vias dominantes de transmissão de doenças decorrentes de condições sanitárias insuficientes e a eficácia da intervenção (WOLF et al., 2019) e, (viii) sanar as deficiências de infraestrutura e serviços, manter o ambiente preservado e reparar a degradação ambiental (PEREIRA et al., 2015).

Dentre esses objetivos, a finalidade central no uso dos indicadores ambientais, sob a perspectiva integrada do saneamento e saúde, foi fornecer informações sobre as condições de salubridade e qualidade ambiental de determinado local no período de tempo em que os estudos foram executados (LIMA, ARRUDA e SCALIZE, 2019; ROCHA, RUFINO e BARROS FILHO, 2019; WOLF et al., 2019; BERNARDES, BERNARDES e GÜNTHER, 2018; JUNG et al., 2018; STAUBER et al., 2018; TEIXEIRA, PRADO FILHO e SANTIAGO, 2018; JUNG et al., 2017; ALAGIDEDE e ALAGIDEDE, 2016; PEREIRA et al., 2015; BÜHLER et al., 2014; REGO et al., 2013; CARNEIRO et al., 2012; CALIJURI et al., 2009; CRONIN et al., 2008; SILVA, NASCIMENTO e SILVA, 2008; BATISTA e SILVA,

2006; FERREIRA e CUNHA, 2005; RODRÍGUEZ, ROJAS e FERNÁNDEZ, 1999).

E, em seguida, subsidiar a tomada de decisão e a gestão pública dos recursos em saneamento e saúde (LIMA, ARRUDA e SCALIZE, 2019; ROCHA, RUFINO e BARROS FILHO, 2019; WOLF et al., 2019; BERNARDES, BERNARDES e GÜNTHER, 2018; JUNG et al., 2018; STAUBER et al., 2018; TEIXEIRA, PRADO FILHO e SANTIAGO, 2018; JUNG et al., 2017; ALAGIDEDE e ALAGIDEDE, 2016; PEDROSA, MIRANDA e RIBEIRO, 2016; MONTEIRO et al., 2015; PEREIRA et al., 2015; BÜHLER et al., 2014; REGO et al., 2013; CALIJURI et al., 2009; SILVA, NASCIMENTO e SILVA, 2008; FERREIRA e CUNHA, 2005; BATISTA e SILVA, 2006; CIFUENTES et al., 2002).

A versatilidade no emprego dos indicadores ambientais analisados foi confirmada como uma das vantagens de sua aplicação, por permitir sua adaptação para avaliar realidades e subdivisões territoriais distintas, sem perder a capacidade de sensibilidade para perceber as particularidades do local investigado (LIMA, ARRUDA e SCALIZE, 2019; ROCHA, RUFINO e BARROS FILHO, 2019; STAUBER et al., 2018; JUNG et al., 2017; BATISTA e SILVA, 2006).

Entretanto, os subindicadores e variáveis incorporados ou suprimidos para viabilizar a adequação dos indicadores ambientais limitaram a comparabilidade entre diferentes indicadores, como também, entre um mesmo indicador aplicado em lugares distintos (BERNARDES, BERNARDES e GÜNTHER, 2018; TEIXEIRA, PRADO FILHO e SANTIAGO, 2018; PEREIRA et al., 2015). Também a considerar: um indicador composto por variáveis de abastecimento de água, esgotamento sanitário, coleta de resíduos sólidos e ocorrência de alagamentos, poderia não ter sensibilidade suficiente para perceber o real estado de saúde da população (ROCHA, RUFINO e BARROS FILHO, 2019; TEIXEIRA, PRADO FILHO e SANTIAGO, 2018; SILVA et al., 2017; PEREIRA et al., 2015).

Uma explicação para uma certa fragilidade no uso dos indicadores seria a origem das informações para o cálculo das variáveis de saúde e saneamento nos países emergentes, dada a ausência em quantidade e qualidade dos dados que deveriam ser disponibilizados pelas instituições responsáveis (LIMA, ARRUDA e SCALIZE, 2019; BERNARDES, BERNARDES e GÜNTHER, 2018; JUNG et al., 2018; STAUBER et al., 2018; TEIXEIRA, PRADO FILHO e SANTIAGO, 2018; MONTEIRO et al., 2015; PEREIRA et al., 2015). Quanto menor a renda de um país, maior a probabilidade de seus órgãos gestores fornecerem dados incompletos, errôneos ou obsoletos (JUNG et al., 2018). A falta de ferramentas adequadas de monitoramento e vigilância, integradas aos sistemas de fluxo de informações, evidencia o entrave em coletar rotineiramente dados robustos (STAUBER et al., 2018).

Os dados e informações coletados para esta revisão sistemática mostram que os indicadores que têm sido mais aplicados simulam fatores dinâmicos sujeitos a constantes mudanças, das condições de salubridade ambiental (TEIXEIRA, PRADO FILHO e SANTIAGO, 2018; CONCEPCIÓN ROJAS et al., 2005). Por isso, para a avaliação das condições do ambiente físico, do saneamento e da saúde ambiental, recomenda-se a aplicação daqueles indicadores de maneira continuada (PEREIRA et al., 2015; REGO et al., 2013; CRONIN et al., 2008).

5 CONCLUSÕES

Nesta revisão sistemática, obteve-se um relevante aporte de informações que identificou, analisou e resumiu, de pesquisas antigas e recentes, o uso de indicadores ambientais na perspectiva conjunta do saneamento e saúde em países emergentes.

Quase todos os artigos avaliados evidenciaram esses indicadores como uma métrica eficaz para a tomada de decisão (48%), formulação de políticas públicas para priorização de investimentos

na área sanitária (40%), planejamento urbano (36%) e como um instrumento de fácil uso (28%).

Pode-se destacar ainda nesta revisão: (i) o largo uso desses indicadores para diagnosticar os cenários do saneamento, saúde e salubridade ambiental em localidades diversas; (ii) o desafio no emprego de um mesmo indicador para retratar diferentes realidades; e (iii) a capacidade deste mesmo indicador de equiparação com outros indicadores ou com ele mesmo, quando aplicado em lugares distintos. De qualquer modo, recomenda-se o uso desses indicadores, mas de forma continuada.

6 AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Rural do Semiárido (Ufersa) pelo apoio durante o período de doutorado de Valones G.; à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa concedida a Valones G.; ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (Facepe) pelos recursos do projeto Pronex/Nutrel-3 (APQ-0603-3.07/14), para o Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA-UFPE) e para o Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA-CAA-UFPE).

7 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Conceitualização: Valones G, Santos SM, Florencio L e Kato MT; **Metodologia:** Valones G; **Investigação:** Valones G; **Redação e Primeira versão:** Valones G; **Redação e Revisão & Edição:** Valones G, Santos SM, Florencio L e Kato MT; **Supervisão:** Santos SM, Florencio L, Kato MT e Gavazza S.

8 REFERÊNCIAS

ALAGIDEDE, P.; ALAGIDEDE, A. N. The public health effects of water and sanitation in selected West African countries.

- Public Health.** v.130, p.59-63, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2015.07.037>
- ANDREAZZI, M. A. R.; BARCELLOS, C.; HACON, S. Velhos indicadores para novos problemas: a relação entre saneamento e saúde. **Revista Panamericana de Salud Pública.** v.22, n.3, p.211-217, 2007. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/7780>
- BATISTA, M. E. M.; SILVA, T. C. O modelo ISA/JP – indicador de performance para diagnóstico do saneamento ambiental urbano. **Engenharia Sanitária e Ambiental.** v.11, n.1, p.55-64, 2006. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522006000100008>
- BERNARDES, C.; BERNARDES, R. S.; GÜNTHER, W. M. R. Proposta de índice de salubridade ambiental domiciliar para comunidades rurais: aspectos conceituais e metodológicos. **Engenharia Sanitária e Ambiental.** v.23, n.4, p.697-706, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522018141631>
- BIOLCHINI, J.; MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C.; TRAVASSOS, G. H. **Systematic review in software engineering** [Joint Technical Report]. Reino Unido: Keele University. Technical Report ES 679 2005: 1-31.
- BÜHLER, H. F.; IGNOTTI, E.; NEVES, S. M. A. S.; HACON, S. S. Análise espacial de indicadores integrados determinantes da mortalidade por diarreia aguda em crianças menores de 1 ano em regiões geográficas. **Ciência & Saúde Coletiva.** v.19, n.10, p.4131-4140, 2014. <https://doi.org/10.1590/1413-812320141910.09282014>
- CALIJURI, M. L.; SANTIAGO, A. F.; CAMARGO, R. A.; MOREIRA NETO, R. F. Estudo de indicadores de saúde ambiental e de saneamento em cidade do Norte do Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental.** v.14, n.1, p.19-28, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522009000100003>
- CARNEIRO, F. F.; FRANCO NETTO, G.; CORVALAN, C.; FREITAS, C. M.; SALES, L. B. F. Saúde ambiental e desigualdades: construindo indicadores para o desenvolvimento sustentável. **Ciência & Saúde Coletiva.** v.17, n.6, p.1419-1425, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-81232012000600006>
- CIFUENTES, E.; MAZARI-HIRIART, M.; CARNEIRO, F.; BIANCHI, F.; GONZALEZ, D. The risk of enteric diseases in young children and environmental indicators in sentinel areas of Mexico City. **International Journal of Environmental Research and Public Health.** v.12, n.1, p.53-62, 2002. <http://dx.doi.org/10.1080/09603120120110059>
- CONCEPCIÓN ROJAS, M.; SALAS, A. M. I.; LUNA, L. C.; GORBEA, M. B.; UTRA, I. B. Indicadores de salud ambiental y el trabajo de la población en la prevención del dengue. Ciudad de La Habana, 2003. **Revista Cubana de Higiene y Epidemiología.** v.43, n.1, 2005.
- CRONIN, A. A.; SHRESTHA, D.; CORNIER, N.; ABDALLA, F.; EZARD, N.; ARAMBURU, C. A review of water and sanitation provision in refugee camps in association with selected health and nutrition indicators – the need for integrated service provision. **Journal Water & Health.** v.6, n.1, p.1-13, 2008. <http://dx.doi.org/10.2166/wh.2007.019>
- FERREIRA, A.; CUNHA, C. Sustentabilidade ambiental da água consumida no município do Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Panamericana de Salud Pública.** v. 18, n.2, p.93-99, 2005. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/8065>
- JUNG, E. M.; JAGALS, P.; BRERETON, C.; SLY, P. D.; KIM, R.; KIM, E. M.; HÁ, E. H. Children's environmental health indicators in context of the sustainable development goals for small island developing states. **International Journal of Environmental Research and Public Health.** v.15, n.7, p. 1404-1416, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15071404>
- JUNG, E. M.; KIM, E. M.; KANG, M.; GOLDIZEN, F.; GORE, F.; DRISSE, M. N. B.; HA, E. H. Children's environmental health indicators for low-and middle-income countries in Asia. **Ann Glob Health.** v.83, n.3-4, p.530-540, 2017. <http://doi.org/10.1016/j.aogh.2017.10.013>
- KITCHENHAM, B. **Procedures for performing systematic reviews** [Joint Technical Report]. Reino Unido: Keele University. Technical Report TR/SE-0401 2004: 1-27.
- LIMA, A. S. C.; ARRUDA, P. N.; SCALIZE, P. S. Indicador de salubridade ambiental em 21 municípios do estado de Goiás com serviços públicos de saneamento básico operados pelas prefeituras. **Engenharia Sanitária e Ambiental.** v.24, n.3, p.439-452, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019188336>
- MAFRA, S. N.; TRAVASSOS, G. H. **Estudos primários e secundários apoiando a busca por evidência em engenharia de software** [Joint Technical Report]. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. Technical Report ES 687 2006: 1-33.
- MONTEIRO, T. H. A.; CHAVES, T. S. S.; MATOS, H. J.; SOFFIATTI, N. F. L.; GUIMARÃES, R. J. P. S. E.; GUIMARÃES, L. H. R.; VENTURA, A. M. R.; MACHADO, R. L. D. Basic sanitation, socioeconomic conditions, and degree of risk for the presence and maintenance of malaria in a low-transmission area in the Brazilian Amazon. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical.** v.48, n.5, p.573-579, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0037-8682-0118-2015>
- PEDROSA, R. N.; MIRANDA, L. I. B.; RIBEIRO, M. M. R. Avaliação pós-ocupação sob o aspecto do saneamento ambiental em área de interesse social urbanizada no município de Campina Grande, Paraíba. **Engenharia Sanitária e Ambiental.** v.21, n.3, p.535-546, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016146176>
- PEREIRA, M. T.; SILVA, F. F.; GIMENES, M. L.; ZANATTA, O. A. Desenvolvimento de Indicador de Qualidade de Saneamento Básico Urbano (IQSBU) e aplicação em cidades paranaenses. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente.** v.8, n.1, p.135-164, 2015. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2015v8n1p135-164>
- REGO, R. F.; LIMA, V. C.; LIMA, A. C.; BARRETO, M. L.; PRADO, M. S.; STRINA, A. Environmental indicators of intra-urban heterogeneity. **Cadernos de Saúde Pública.** v.29, n.6,

p.1173-1185, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2013000600014>

ROCHA, L. A.; RUFINO, I. A. A.; BARROS FILHO, M. N. M. Indicador de salubridade ambiental para Campina Grande, PB: adaptações, desenvolvimentos e aplicações. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.24, n.2, p.315-326, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522019166209>

RODRÍGUEZ, A. M. P.; ROJAS, M. C.; FERNÁNDEZ, A. M. I. Saneamento ambiental e doenças digestivas no município de Plaza de la Revolución, 1992-1997. **Revista Cubana de Higiene y Epidemiología**. v.37, n.2, p.82-91, 1999.

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, p. 171-180, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000200007>

SILVA, S. A.; GAMA, J. A. S.; CALLADO, N. H.; SOUZA, V. C. B. Saneamento básico e saúde pública na Bacia Hidrográfica do Riacho Reginaldo em Maceió, Alagoas. **Engenharia Sanitária e**

Ambiental. v.22, n.4, p.699-709, 2017. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017146971>

STAUBER, C.; ADAMS, E.; ROTHENBERG, R.; DAI, D.; LUO, R.; WEAVER, S.; PRASAD, A.; KANO, M.; HEATH, J. Measuring the impact of environment on the health of large cities. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. v.15, n.6, p.1216-1230, 2018. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph15061216>

TEIXEIRA, D. A.; PRADO FILHO, J. F.; SANTIAGO, A. D. F. Indicador de salubridade ambiental: variações da formulação e usos do indicador no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental** 2018; 23 (3): 543-556. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522018170866>

WOLF, J.; JOHNSTON, R.; HUNTER, P. R.; GORDON, B.; MEDLICOTT, K.; PRÜSS-ÜSTÜN, A. A faecal contamination index for interpreting heterogeneous diarrhoea impacts of water, sanitation and hygiene interventions and overall, regional and country estimates of community sanitation coverage with a focus on low- and middle-income countries. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**. v.222, n.2, p.270-282, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.11.005>

