



Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Centro de Tecnologia e Ciências
Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de
Recursos Hídricos

Marcelo Casiuch

**Sistema de suporte à decisão para implantação da 2ª etapa do sistema
adutor do Agreste Pernambucano**

Rio de Janeiro

2023

Marcelo Casiuch

**Sistema de suporte à decisão para implantação da 2ª etapa do sistema adutor do Agreste
Pernambucano**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos. Linha de Pesquisa: Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água.

Orientador: Prof. Dr. Júlio Cesar da Silva

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a. Roberta de Melo Guedes Alcoforado

Rio de Janeiro

2023

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/C

C339 Casiuch, Marcelo.
Sistema de suporte à decisão para implantação da 2ª etapa do sistema adutor do Agreste Pernambucano / Marcelo Casiuch. – 2023.
208 f.: il.

Orientador: Júlio Cesar da Silva.
Coorientadora: Roberta de Melo Guedes Alcoforado.

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências.

1. Recursos hídricos – Administração – Brasil, Nordeste – Teses.
2. Abastecimento de água – Pernambuco – Teses. 3. Saneamento básico – Semiárido nordestino – Teses. 4. Desenvolvimento sustentável – Teses. I. Silva, Júlio Cesar da. II. Alcoforado, Roberta de Melo Guedes. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Centro de Tecnologia e Ciências. IV. Título.

CDU 556.18(813.4)

Bibliotecária responsável: Priscila Freitas Araujo / CRB-7: 6390

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Marcelo Casiuch

**Sistema de suporte à decisão para implantação da 2ª etapa do sistema adutor do Agreste
Pernambucano**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos, Curso de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos (PROF-ÁGUA), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Regulação e Governança de Recursos Hídricos. Linha de Pesquisa: Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água.

Aprovado em 20 de março de 2023.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Júlio Cesar da Silva (Orientador)

Prof.^a Dr.^a. Roberta de Melo Guedes Alcoforado (Coorientadora)
Universidade de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a. Cleonice Puggian
Centro de Tecnologia e Ciências - UERJ

Prof. Dr. Francisco de Assis Dourado da Silva
Centro de Tecnologia e Ciências - UERJ

Prof. Dr. Hugo Portocarrero
Centro de Tecnologia e Ciências - UERJ

Prof.^a Dr.^a. Simone Rosa da Silva
Universidade de Pernambuco

Prof.^a Dr.^a. Suzana Maria Gico Lima Montenegro
Universidade Federal de Pernambuco

Rio de Janeiro

2023

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho ao meu núcleo familiar, com muito amor. Aos meus orientadores, que me fizeram acreditar todos os dias. À minha equipe, que me acompanhou, apoiou e incentivou durante toda a jornada do mestrado. E às minhas amigas e meus amigos, pela compreensão da ausência.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Claudia, pelo apoio incondicional oferecido em todos os aspectos e grande impulso ao meu crescimento profissional.

A meus filhos João Felipe e Paula Andrea, por terem me incentivado e inspirado a sempre seguir em frente e abdicado muitas vezes de nossa convivência.

A meus pais, Mathusalem e Stella, *in memoriam*, pelos valores que me transmitiram e o estímulo à educação.

A João Recena e Fabio Chaffin, incentivadores, desde as primeiras horas, de meu desenvolvimento profissional através da formação continuada.

À minha eterna orientadora e amiga Roberta Alcoforado, pelas valiosas e incontáveis horas dedicadas a esse trabalho e com quem tenho o privilégio de conviver em atividades que realizamos ao longo de tantos anos.

Ao meu orientador Júlio César da Silva, pelo apoio, conhecimento, e orientações precisas durante todas as fases de desenvolvimento desse trabalho.

Aos gestores e especialistas consultados, que disponibilizaram seu precioso tempo em responder ao formulário, que serviu de base à aplicação da metodologia proposta para o trabalho.

À banca examinadora, pelas excelentes contribuições e disponibilidade.

À minha animada turma de mestrado, que sem dúvida, tornou as minhas sextas-feiras mais felizes e os encontros e seminários um momento de especial confraternização. Em especial, agradeço a Elisa Marra, com quem mantive um convívio mais próximo ao longo do mestrado, por todo o carinho e atenção sempre dedicados.

A Antônio Neto, que me deu grande apoio em suas horas livres à realização desse trabalho.

À Universidade do Estado do Rio de Janeiro e todo seu corpo docente e administrativo, por todos os aprendizados e oportunidades.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e da Agência Nacional de Águas (ANA) através do Projeto CAPES/ANA AUXPE N°. 2717/2015. Agradeço ao Programa de Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - ProfÁgua da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) pelo apoio técnico científico oferecido, e a ANA e a CAPES pelo apoio ao ProfÁgua aportado até o momento.

RESUMO

CASIUCH, Marcelo. *Sistema de suporte à decisão para implantação da 2ª etapa do sistema adutor do Agreste Pernambucano*. 2022. 208 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROF-ÁGUA), Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

As secas no Nordeste são bem conhecidas, sendo a irregularidade das chuvas uma constante na região, tal como a recente estiagem de 2015 a 2020, que levou seus reservatórios a níveis extremamente baixos. O Agreste Pernambucano, localizado no Semiárido Nordeste, é considerado uma das áreas mais críticas do país em termos de segurança hídrica, devido à extrema escassez de água e à poluição de seus corpos d'água. O poder público vem enfrentando essa problemática com a implantação de grandes infraestruturas, como o Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – PISF e o Sistema Adutor do Agreste Pernambucano - SAAP, que visam reforçar a oferta hídrica local e assegurar a garantia de abastecimento de água à população beneficiada. O SAAP, em implantação final em sua primeira etapa, é interligado ao PISF através do Ramal do Agreste, inaugurado em outubro/2021, bem como a outros mananciais, visando abastecer com água de boa qualidade, quando implantado em sua totalidade, 69 municípios da região, com uma população estimada em mais de 2 milhões de pessoas para o fim de plano em 2037. A presente dissertação visa responder às necessidades de regiões com alta vulnerabilidade hídrica e apoiar a questão do planejamento e priorização da implantação de grandes infraestruturas hidráulicas, como as da 2ª Etapa do SAAP, orçadas em cerca de R\$ 2,25 bilhões. Para tal, estruturou-se um Sistema de Suporte à Decisão (SSD), apoiado em informações presentes tanto no Atlas Águas – Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano, lançado pela ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico em 2021, quanto na Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (PERH|PE), concluído em 2022 pela SEINFRA-PE – Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco. Selecionou-se e aplicou-se o Processo Analítico Hierárquico (AHP), uma metodologia de Auxílio Multicritério à Decisão (AMD) desenvolvida na década de 1990, para priorizar a implantação dos diversos trechos da obra. Assim, foram selecionadas e ponderadas variáveis distribuídas em cinco dimensões (desenvolvimento humano, educação e saúde, financeira, hídrica e ecossistêmica), apoiando-se também em uma consulta a especialistas e gestores envolvidos nessa temática, de forma a otimizar a segurança hídrica e o atingimento das metas de universalização do saneamento básico, previstas no novo marco regulatório sancionado em julho de 2020. Como principal resultado desta dissertação, propõe-se uma hierarquização para a implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP, devendo os Ramais de Belo Jardim a Brejo Madre de Deus, Bezerros a Bonito e Lajedo a Palmerina serem, nessa ordem, os primeiros a implantar, evidenciando-se assim a necessidade de priorizar o abastecimento d'água às regiões com menores índices de desenvolvimento humano, bem como as mais afetadas com relação à vulnerabilidade quantitativa e qualitativa de seus mananciais e sistemas de produção de água. Estes resultados se destinam a subsidiar a tomada de decisão dos órgãos gestores e colegiados a níveis federal, estadual e local, visando uma gestão sustentável dos recursos hídricos na região do Agreste Pernambucano.

Palavras-chave: recursos hídricos; segurança hídrica; processo analítico hierárquico (AHP); modelos multicritérios; desenvolvimento sustentável; Pernambuco.

ABSTRACT

CASIUCH, Marcelo. *Decision support system for the implementation of 2nd stage of the Pernambucan Agreste adductor system*. 2022. 208 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos – PROF-ÁGUA), Centro de Tecnologia e Ciências, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

Droughts in the Northeast are well known, with the irregularity of rainfall being a constant in the region, such as the recent drought from 2015 to 2020, which took its reservoirs to extremely low levels. The Pernambucan Agreste, located in the Northeastern semiarid region, is considered one of the most critical areas in the country in terms of water security, due to extreme water scarcity and the pollution of its water bodies. The public power has been facing this problem with the implementation of large infrastructures, such as the São Francisco River Integration Project with the Northeastern Hydrographic Basins - PISF and the Pernambucan Agreste Adductor System - PAAS, which aim to strengthen the local water supply and ensure guarantee of water supply to the benefited population. The PAAS, already in final implementation in its first stage, is interconnected to the PISF through the Ramal do Agreste, inaugurated in 2021, as well as to other sources, aiming to supply with good quality water, when implemented in its entirety, 69 municipalities in the region, with an estimated population of more than 2 million people by the end of the plan in 2037. The present work aims to respond to the needs of regions with high water vulnerability and support the issue of planning and prioritizing the implementation of large hydraulic infrastructures, such as of the 2nd Stage of the PAAS, budgeted at around R\$ 2.25 billion. To this end, a Decision Support System (DSS) was structured, supported by information present both in the Atlas Águas - Water Security of Urban Supply, launched by ANA – National Water and Basic Sanitation Agency in 2021, and in the Update of the Pernambuco State Water Resources Plan (PERH|PE), concluded in 2022 by SEINFRA-PE – Secretariat of Infrastructure and Water Resources of the State of Pernambuco. The Analytic Hierarchy Process (AHP) was selected and applied, a Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) methodology developed in the 1990s, to prioritize the implementation of the various parts of the project. Thus, variables distributed in five dimensions (human development, education and health, financial, water and ecosystem) were selected and weighted, with the support of a consultation to experts and managers involved in this theme, in order to optimize water security and the achievement of basic sanitation universalization goals, foreseen in the new regulatory framework sanctioned in July 2020. As the main result of this dissertation, a hierarchy is proposed for the implementation of the sections of the 2nd Stage of the PAAS, with the stretches from Belo Jardim to Brejo Madre de Deus, Bezerros to Bonito and Lajedo to Palmerina being, in that order, the first to implement, thus highlighting the need to prioritize water supply to regions with lower human development indices, as well as those most affected in terms of the quantitative and qualitative vulnerability of their sources and water production systems. These results are intended to support the decision-making of the management and collegiate bodies, at federal, state, and local levels, aiming at a sustainable management of water resources in the Agreste region of Pernambuco.

Keywords: water resources; water security; analytic hierarchy process (AHP); multicriteria model; sustainable development; Pernambuco.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Sistema Adutor do Agreste Pernambucano | 18 |
| Figura 2 – Dimensões da Segurança Hídrica..... | 20 |
| Figura 3 – ODS - Objetivos Globais para o Desenvolvimento Sustentável | 22 |
| Figura 4 – Classificação da técnica de Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD)..... | 34 |
| Figura 5 – Unidades de planejamento hídrico | 37 |
| Figura 6 – Relação integrada de temperaturas anuais e isoietas..... | 43 |
| Figura 7 – Relação integrada de umidade relativa do ar e temperatura..... | 45 |
| Figura 8 – Hipsometria | 47 |
| Figura 9 – Declividade do terreno | 49 |
| Figura 10 – Hidrografia | 50 |
| Figura 11 – Densidade de Drenagem..... | 52 |
| Figura 12 – Geologia | 54 |
| Figura 13 – Unidades Aquíferas | 56 |
| Figura 14 – Geomorfologia..... | 59 |
| Figura 15 – Solos | 62 |
| Figura 16 – Biomas..... | 68 |
| Figura 17 – Usos e ocupação do solo..... | 70 |
| Figura 18 – Estimativa e projeção populacional em 2020, 2035 e 2050 | 72 |
| Figura 19 – Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal | 73 |
| Figura 20 – Taxa de habitantes extremamente pobres, pobres e vulneráveis a pobreza em 2010..... | 75 |
| Figura 21 – Índice de Gini de concentração de renda..... | 76 |
| Figura 22 – Taxa de analfabetismo da população com 15 anos ou mais de idade | 78 |
| Figura 23 – Taxa de mortalidade infantil..... | 80 |
| Figura 24 – Municípios acometidos por doenças de veiculação hídrica | 81 |
| Figura 25 – Produto Interno Bruto segmentado pelo setor agropecuário, industrial, de serviços e a administração pública | 82 |
| Figura 26 – Produto Interno Bruto total..... | 84 |
| Figura 27 – Abastecimento hídrico urbano e total..... | 85 |

| | |
|--|-----|
| Figura 28 – Atendimento de coleta e tratamento de esgotamento sanitário | 86 |
| Figura 29 – Atendimento de coleta pública de resíduos sólidos..... | 87 |
| Figura 30 – Taxa de cobertura da rede drenagem urbana..... | 89 |
| Figura 31 – Matriz de vulnerabilidade a inundações | 89 |
| Figura 32 – Sistemas integrados de abastecimento d’água existentes..... | 92 |
| Figura 33 – Vulnerabilidade à segurança hídrica quanto à capacidade dos mananciais e sistemas de produção de água dos mananciais e sistemas produtores dos municípios atendidos pelo SAAP..... | 95 |
| Figura 34 – Vulnerabilidade à segurança hídrica quanto à qualidade da água dos mananciais dos municípios atendidos pelo SAAP | 97 |
| Figura 35 – Índice de cobertura da rede de distribuição de água..... | 98 |
| Figura 36 – Desempenho Técnico do Gerenciamento das Perdas de Água | 100 |
| Figura 37 – Custos para ampliação e renovação dos sistemas de distribuição de água nos municípios | 103 |
| Figura 38 – Fluxograma Geral do Método AHP | 105 |
| Figura 39 – Etapas Metodológicas para o Método AHP | 107 |
| Figura 40 – Trechos da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano | 109 |
| Figura 41– Exemplo de matriz de comparação pareada. | 116 |
| Figura 42 – Fluxo de aplicação do Processo Analítico Hierárquico..... | 118 |
| Figura 43 – Cálculo da Nota Final de priorização de implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP..... | 119 |
| Figura 44 – Resumo da metodologia para priorização de implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP..... | 120 |
| Figura 45 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão de Desenvolvimento Humano | 125 |
| Figura 46 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão de Educação e Saúde..... | 126 |
| Figura 47 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão Financeira | 126 |
| Figura 48 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão Hídrica | 127 |
| Figura 49 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão Ecológica..... | 127 |
| Figura 50 – Notas finais dos trechos para hierarquização da implantação da 2ª Etapa do SAAP..... | 135 |
| Figura 51 – Ranking das notas finais dos trechos para implantação da 2ª Etapa do SAAP | 136 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| Gráfico 1 – Precipitação mensal acumulada | 39 |
| Gráfico 2 – Temperatura mínima média anual | 40 |
| Gráfico 3 – Temperatura média anual..... | 41 |
| Gráfico 4 – Temperatura máxima média anual..... | 41 |
| Gráfico 5 – Umidade relativa do ar média anual | 44 |
| Gráfico 6 – Proporção de investimentos para ampliação e renovação dos sistemas de distribuição de água nos municípios | 103 |

LISTA DE QUADROS

| | | |
|-------------|---|-----|
| Quadro 1 – | Relação de estações climatológicas utilizadas no estudo | 38 |
| Quadro 2 – | Classificação da Densidade de Drenagem | 51 |
| Quadro 3 – | Síntese da correlação Geo-pedológica para as classes de solos na área do estudo | 64 |
| Quadro 4 – | Indicadores Geo-pedológicos relevantes em obras lineares na área do estudo.. | 65 |
| Quadro 5 – | Categorias de performance técnica do gerenciamento de perdas de água.. | 99 |
| Quadro 6 – | Dimensões, variáveis, indicadores e bases de dados selecionados para a avaliação multicritério | 112 |
| Quadro 7 – | Valores atribuídos para as classes de vulnerabilidade quantitativa do manancial e sistema de produção | 113 |
| Quadro 8 – | Valores atribuídos para as classes de vulnerabilidade da qualidade de água do manancial | 113 |
| Quadro 9 – | Valores atribuídos para as classes de desempenho técnico dos prestadores de serviços no gerenciamento de perdas | 113 |
| Quadro 10 – | Valores atribuídos para as classes de priorização de combate a doenças de veiculação hídrica | 114 |
| Quadro 11 – | Escala de importância relativa entre os fatores..... | 115 |
| Quadro 12 – | Escala adaptada de importância relativa entre os fatores. | 115 |
| Quadro 13 – | Resultados das respostas às perguntas sobre a significância relativa entre as variáveis e as dimensões..... | 129 |
| Quadro 14 – | Matriz de Saaty para a Dimensão de Desenvolvimento Humano | 130 |
| Quadro 15 – | Matriz de Saaty para a Dimensão de Educação e Saúde | 131 |
| Quadro 16 – | Matriz de Saaty para a Dimensão Financeira | 131 |
| Quadro 17 – | Matriz de Saaty para a Dimensão Hídrica | 131 |
| Quadro 18 – | Matriz de Saaty para a Dimensão Ecológica | 132 |
| Quadro 19 – | Matriz de Saaty para o cruzamento entre Dimensões..... | 132 |
| Quadro 20 – | Pesos das dimensões e variáveis para a seleção da ordem de priorização de implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP, conforme o método AHP. | 133 |
| Quadro 21 – | Notas finais de priorização de implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP de acordo com o método AHP..... | 135 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tabela 1 – | Unidades de planejamento hídrico, área total e % na área de estudo..... | 37 |
| Tabela 2 – | Hipsometria | 46 |
| Tabela 3 – | Classes de declividade do terreno | 48 |
| Tabela 4 – | Densidade de Drenagem..... | 51 |
| Tabela 5 – | Classes geológicas..... | 53 |
| Tabela 6 – | Hidrogeologia..... | 55 |
| Tabela 7 – | Classificação geomorfológica | 58 |
| Tabela 8 – | Classes de Solo..... | 61 |
| Tabela 9 – | Biomias..... | 67 |
| Tabela 10 – | Usos e cobertura do solo | 69 |
| Tabela 11 – | Investimentos para implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP..... | 110 |
| Tabela 12 – | Exemplo de matriz de comparação pareada entre fatores | 117 |
| Tabela 13 – | Resultados das variáveis para cada trecho da 2ª Etapa do SAAP nas Dimensões de Desenvolvimento Humano e Educação e Saúde..... | 122 |
| Tabela 14 – | Resultados das variáveis para cada trecho da 2ª Etapa do SAAP nas Dimensões Financeira e Hídrica..... | 123 |
| Tabela 15 – | Resultados das variáveis para cada trecho da 2ª Etapa do SAAP na Dimensão Ecológica | 123 |
| Tabela 16 – | Resultados das variáveis padronizadas para cada trecho da 2ª Etapa do SAAP nas Dimensões de Desenvolvimento Humano e Educação e Saúde | 124 |
| Tabela 17 – | Resultados das variáveis padronizadas para cada trecho da 2ª Etapa do SAAP nas Dimensões Financeira e Hídrica | 124 |
| Tabela 18 – | Resultados das variáveis padronizadas para cada trecho da 2ª Etapa do SAAP na Dimensão Ecológica | 125 |
| Tabela 19 – | Graus de Consistência dos Nós das Matrizes..... | 134 |
| Tabela 20 – | Projeção de crescimento populacional na região atendida pelo SAAP em 2020, 2035 e 2050 | 174 |
| Tabela 21 – | Projeção de crescimento populacional e sua distribuição em áreas urbanas e rurais em 2020 e 2050..... | 174 |

| | |
|---|-----|
| Tabela 22 – Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal..... | 176 |
| Tabela 23 – Taxa de habitantes extremamente pobres, pobres e vulneráveis à pobreza em 2010 | 179 |
| Tabela 24 – Índice de GINI de Concentração de Renda..... | 181 |
| Tabela 25 – Taxa de analfabetismo da população com 15 anos ou mais de idade em 2010..... | 183 |
| Tabela 26 – Taxa de mortalidade infantil em 2017..... | 185 |
| Tabela 27 – Produto Interno Bruto segmentado pelo setor agropecuário, industrial, de serviços e a administração pública | 188 |
| Tabela 28 – Índice de atendimento abastecimento d’água urbano e total..... | 190 |
| Tabela 29 – Índice de atendimento de coleta de esgotamento sanitário e tratamento . | 193 |
| Tabela 30 – Índice de atendimento de coleta de resíduos sólidos..... | 195 |
| Tabela 31 – Taxa de cobertura da rede drenagem urbana..... | 197 |
| Tabela 32 – Vulnerabilidade à segurança hídrica quanto à capacidade dos mananciais e sistemas de produção de água dos mananciais e sistemas produtores dos municípios atendidos pelo SAAP | 199 |
| Tabela 33 – Vulnerabilidade à segurança hídrica quanto à qualidade da água dos mananciais dos municípios atendidos pelo SAAP | 201 |
| Tabela 34 – Índice de cobertura da rede de distribuição de água | 202 |
| Tabela 35 – Desempenho Técnico do Gerenciamento das Perdas de Água | 204 |
| Tabela 36 – Custos para ampliação e renovação dos sistemas de distribuição de água nos municípios | 206 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------|--|
| AHP | <i>Analytic Hierarchy Process</i> (Processo Analítico Hierárquico) |
| ANA | Agência Nacional de Água e Saneamento Básico |
| APAC | Agência Pernambucana de Águas e Clima |
| BID | Banco Interamericano de Desenvolvimento |
| CAPES | Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior |
| CNRH | Conselho Nacional de Recursos Hídricos |
| CODEVASF | Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba |
| COMPESA | Companhia Pernambucana de Saneamento |
| CPRM | Serviço Geológico do Brasil |
| ETE | Estação de Tratamento de Efluentes |
| FIRJAN | Federação das Indústrias do Rio de Janeiro |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IFDM | Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal |
| INCC | Índice Nacional de Custo da Construção |
| INMET | Instituto Nacional de Meteorologia |
| IWA | <i>International Water Association</i> |
| MDE | Modelo Digital de Elevação |
| MIDR | Ministério da Integração e do Desenvolvimento Sustentável |
| MAUT | <i>Multi-attribute Utility Theory</i> (Teoria da Utilidade Multiatributo) |
| MAVT | <i>Multi-attribute Value Theory</i> (Teoria da Valor Multiatributo) |
| MMAD | Métodos Multicritérios de Análise de Decisão |
| ODS | Objetivos de Desenvolvimento Sustentável |
| ONU | Organização das Nações Unidas |
| PERH PE | Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| PISF | Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional |
| PNSB | Pesquisa Nacional de Saneamento Básico |
| PNSH | Plano Nacional de Segurança Hídrica |
| PROFÁGUA | Mestrado Profissional em Rede Nacional em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos |

| | |
|----------------|--|
| SAAP | Sistema Adutor do Agreste Pernambucano |
| SANAR | Programa de Enfrentamento de Doenças Neglicenciadas |
| SEINFRA- PE | Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco |
| SNIS | Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento |
| SRTM | <i>Shuttle Radar Topography Mission</i> (Missão Topográfica de Radar Transportado) |
| SSD | Sistema de Suporte à Decisão |
| UPH | Unidade de Planejamento Hídrico |

SUMÁRIO

| | | |
|-------|--|----|
| | INTRODUÇÃO | 17 |
| 1 | JUSTIFICATIVA | 19 |
| 1.1 | Gestão dos recursos hídricos | 19 |
| 1.2 | Segurança hídrica | 19 |
| 1.3 | Interrelação com os ODS da ONU | 21 |
| 1.4 | Aderência às diretrizes do ProfÁgua | 23 |
| 2 | OBJETIVOS | 25 |
| 2.1 | Objetivo geral | 25 |
| 2.2 | Objetivos específicos | 25 |
| 3 | REFERENCIAL TEÓRICO | 27 |
| 3.1 | Planejamento e gestão dos recursos hídricos | 27 |
| 3.2 | Análise de sistemas de recursos hídricos | 28 |
| 3.3 | Métodos multicritérios de análise de decisão | 29 |
| 4 | CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 35 |
| 4.1 | Base de informações | 35 |
| 4.2 | Unidades de planejamento de recursos hídricos | 36 |
| 4.3 | Meio físico | 38 |
| 4.3.1 | Clima..... | 38 |
| 4.3.2 | Relevo | 45 |
| 4.3.3 | Hidrografia | 49 |
| 4.3.4 | Densidade de drenagem | 50 |
| 4.3.5 | Geologia | 53 |
| 4.3.6 | Hidrogeologia..... | 54 |
| 4.3.7 | Geomorfologia | 57 |
| 4.3.8 | Solos..... | 59 |
| 4.4 | Meio biótico | 66 |
| 4.4.1 | Bioma | 66 |
| 4.4.2 | Vegetação e uso e ocupação do solo | 68 |
| 4.5 | Meio socioeconômico | 70 |
| 4.5.1 | População, demografia e desenvolvimento humano..... | 70 |
| 4.5.2 | Educação e Saúde..... | 76 |
| 4.5.3 | Atividades econômicas | 81 |

| | | |
|-------|--|------------|
| 4.5.4 | Saneamento Básico | 84 |
| 4.6 | Segurança hídrica e universalização do abastecimento d'água na região | 90 |
| 4.6.1 | Sistemas integrados de abastecimento d'água | 90 |
| 4.6.2 | Segurança hídrica quanto à capacidade dos mananciais e sistemas de produção de água para o abastecimento urbano | 93 |
| 4.6.3 | Segurança hídrica quanto à qualidade da água dos mananciais para o abastecimento urbano..... | 96 |
| 4.6.4 | Cobertura do atendimento | 97 |
| 4.6.5 | Desempenho técnico do gerenciamento das perdas de água dos municípios | 98 |
| 4.6.6 | Estimativas de investimentos em sistemas de distribuição de água nos municípios | 100 |
| 5 | METODOLOGIA DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO..... | 104 |
| 5.1 | Abordagem metodológica..... | 104 |
| 5.2 | Definição do Método de Suporte à Decisão a ser aplicado..... | 104 |
| 5.3 | Aplicação do Sistema de Suporte à Decisão e Metodologia para Priorização de Implantação dos Trechos da 2ª Etapa do SAAP | 106 |
| 5.3.1 | Análise multicritério – Analytic Hierarchy Process (AHP)..... | 107 |
| 5.4 | Definição do problema a ser resolvido | 108 |
| 5.5 | Identificação das alternativas | 108 |
| 5.6 | Definição dos critérios e subcritérios relevantes para a tomada de decisão... | 110 |
| 5.7 | Avaliação da importância relativa de cada critério e subcritério (par a par) | 114 |
| 5.8 | Avaliação dos pesos relativos de cada critério e subcritério | 117 |
| 5.9 | Avaliação global das alternativas | 118 |
| 5.10 | Aplicação de um formulário de consulta para aplicação do método AHP | 121 |
| 6 | RESULTADOS..... | 122 |
| 6.1 | Comportamento das variáveis selecionadas | 122 |
| 6.2 | Resultados das enquetes realizadas | 128 |
| 6.3 | Matrizes de Saaty | 130 |
| 6.4 | Priorização dos trechos da 2ª Etapa do SAAP | 132 |
| 7 | CONCLUSÕES | 138 |
| 7.1 | Recomendações para trabalhos futuros..... | 140 |
| | REFERÊNCIAS | 141 |
| | APÊNDICE A – Documento de apoio à consulta para aplicação do método multicritério AHP de suporte à decisão | 150 |
| | APÊNDICE B – Formulário de consulta..... | 161 |
| | APÊNDICE C – Lista de consultados | 169 |
| | ANEXO A – Tabelas Auxiliares | 174 |

INTRODUÇÃO

Há evidências de que o mundo enfrenta uma crescente série de problemas locais e regionais relacionados com segurança hídrica, que são o resultado, em sua maioria, da má gestão, do desperdício na utilização e da falta de medidas de gestão integrada. Estes fatores, aliados à degradação, fizeram o consumo da água, no último século, crescer mais que o dobro do incremento da população, provocando em algumas regiões uma escassez crônica de recursos hídricos, além da degradação dos recursos hídricos remanescentes (GWSP, 2012).

Segundo Barreto (2009), as secas no Nordeste são registradas desde os séculos XVI e XVII e a irregularidade das chuvas sempre foi uma característica da região. Há séculos, o problema da região continua à espera de soluções, sendo cada vez mais agravado, não só por imposição da natureza, como também pela necessidade de políticas públicas mais eficientes.

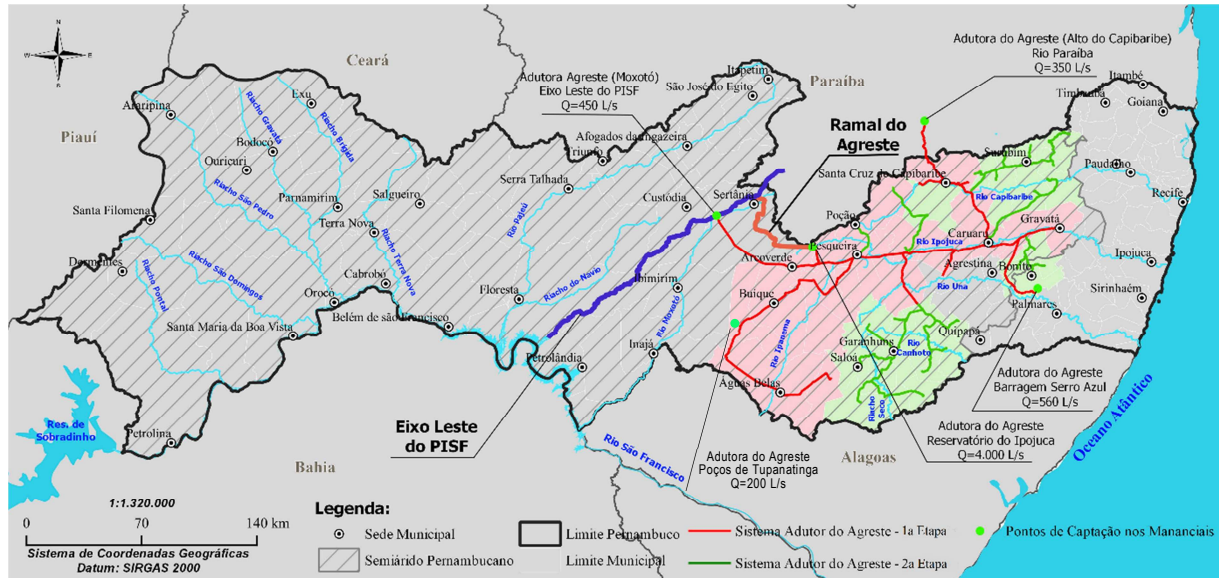
De acordo com o Relatório de Impacto Ambiental do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano (MIN, 2008), o Agreste Pernambucano é uma área crítica em termos de escassez de água, o que dificulta a sobrevivência da população em condições dignas, gerando situações de pobreza e miséria.

O enfrentamento dessa problemática pelo poder público tem se caracterizado pela tentativa de garantir a disponibilidade de água nos rios intermitentes a partir da construção de reservatórios de armazenamento grandes e pequenos, regionalmente conhecidos por açudes. Os açudes, entretanto, sofrem perdas excessivas por evaporação e não conseguem disponibilizar, em média, mais do que 25% da água que armazenam (Junior et al., 2022).

Neste contexto, as obras do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – PISF visam integrar açudes já construídos, reforçando a oferta hídrica local e assegurando a garantia de abastecimento de água à população beneficiada (Codevasf, 2018). Para o abastecimento do Agreste Pernambucano, foram previstas a construção do Ramal do Agreste, interligado ao PISF e inaugurado em 21 de outubro de 2021, e do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano (SAAP), em fase final de implantação de sua primeira etapa e interligado não só ao Ramal do Agreste, mas também a outros mananciais, conforme apresentado na Figura 1, visando abastecer com água tratada de boa qualidade, quando implantado em sua totalidade, 69 municípios da região, com uma população estimada em mais de dois milhões de pessoas para o fim de plano em 2037 (MIN, 2008; SEINFRA-PE, 2022; COMPESA, 2022a; COMPESA 2022b).

É interessante ressaltar que, na área a ser beneficiada pela implantação do sistema de adutoras, a população urbana tem grande participação no atendimento, ficando à população rural apenas 12% do total do suprimento (SEINFRA-PE, 2022).

Figura 1 - Sistema Adutor do Agreste Pernambucano



Fonte: ANA, 2021. Adaptada pelo autor, 2023.

Para apoiar a questão do planejamento e priorização da implantação de infraestruturas hídricas complexas, como as da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano, orçadas em cerca de R\$ 2,25 bilhões, no decorrer das últimas décadas cada vez mais se tem a necessidade de uma ferramenta de auxílio à tomada de decisões baseada na utilização de uma modelagem matemática e de bases de dados. Essa ferramenta, genericamente conhecida como “Sistemas de Suporte à Decisões (SSD)”, vem sendo aplicada com sucesso a diversos campos em que o problema de tomada de decisão é muito complexo, como é o caso da gestão e do planejamento do aproveitamento dos recursos hídricos na região do Agreste Pernambucano (Lienert et al., 2015)

A questão da pesquisa é, portanto: “Como subsidiar a tomada de decisão de órgãos gestores e colegiados em uma região de extrema escassez hídrica como o Agreste Pernambucano, com base na garantia da segurança hídrica e na universalização do abastecimento d’água?”.

1 JUSTIFICATIVA

1.1. Gestão dos recursos hídricos

No Brasil, a apropriação dos recursos hídricos tem atingido um nível em que os conflitos entre os usuários são frequentes, ocorrendo a degradação das águas e cada vez mais aumentando os problemas em relação à necessidade de condições qualitativas e quantitativas mais adequadas para o uso dos mananciais (LANNA, 1999).

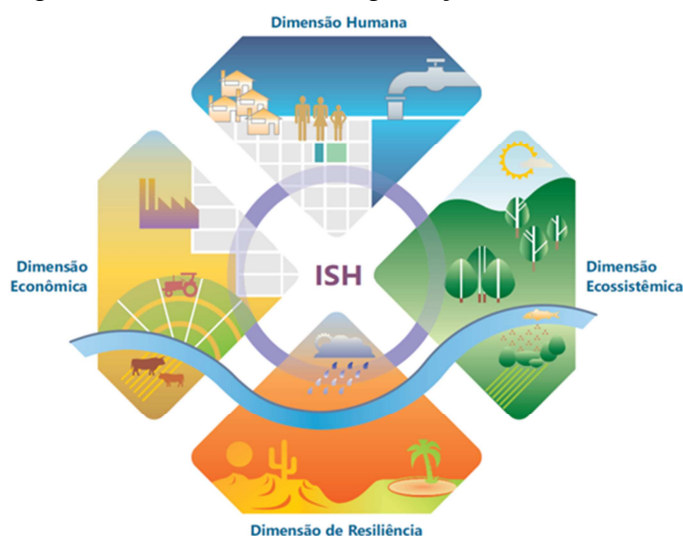
Diante desse contexto, a gestão dos recursos hídricos assume um papel importante, que visa articular ações em conjunto com diferentes agentes sociais, econômicos ou socioculturais, com o objetivo de compatibilizar o uso, o controle e a proteção desses mananciais, e disciplinar as respectivas ações antrópicas, de acordo com a política estabelecida, de modo a se atingir o desenvolvimento sustentável, bem como a garantia hídrica adequada (FREITAS, 2000).

1.2. Segurança hídrica

Segundo a ONU (2012), segurança hídrica é garantir que ecossistemas de água doce sejam protegidos e melhorados em um clima de paz e estabilidade política, bem como acesso sustentável à água de qualidade, em quantidade adequada à manutenção dos meios de vida, bem-estar humano e do desenvolvimento socioeconômico, garantir proteção contra a poluição hídrica e desastres relacionados à água.

Os fatores que ameaçam uma situação desejável de equilíbrio são o aumento da população, principalmente nas áreas urbanas, e o crescimento econômico, que geram ampliação da demanda de água, bem como as mudanças climáticas e os seus efeitos nos eventos hidrológicos extremos, cujas dimensões são representadas na Figura 2 (ANA, 2019).

Figura 2 – Dimensões da Segurança Hídrica



Fonte: ANA, 2019.

Esses fatores de desequilíbrio hídrico, associados à ausência de planejamento e ações de investimentos em infraestrutura hídrica e saneamento, desencadeiam cenários de Insegurança Hídrica e, no limite, a instalação de crises, tais como as que afetaram o Brasil nos últimos anos (ANA, 2019).

Segundo a CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (2018), Operadora Federal do PISF, esta é a maior obra de infraestrutura hídrica do país e figura entre as 50 maiores construções de infraestrutura em implementação no mundo, destacando-se por executar mais de 470 quilômetros de obra linear.

Com objetivo de levar segurança hídrica a regiões de quatro Estados brasileiros: Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, o PISF trouxe a possibilidade de levar água de boa qualidade para o Agreste Pernambucano, sendo essa a região com o maior déficit hídrico do Brasil (MIN, 2008).

Para tal, foram realizados investimentos públicos da ordem de bilhões de reais, que permitem captar águas no rio São Francisco, conduzi-las pelo canal do Eixo Leste, seguindo pelo Ramal do Agreste até a ETA Ipojuca, localizada em Pesqueira-PE, para alimentar o Sistema Adutor do Agreste Pernambucano.

A operação dos canais principais do PISF, denominados Eixo Norte e Eixo Leste, é atribuição do Operador Federal. Após os pontos de entrega, denominados portais, a atribuição pelo monitoramento e operação passa a ser estadual, onde, através da Lei Estadual

nº 16.778/2019, a Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC foi designada como Operadora Estadual, sendo responsável pela gestão e operação do PISF em Pernambuco.

Quanto à implantação e a operação do SAAP, estas são de responsabilidade do Governo de Pernambuco.

Assim, diante da complexidade para a definição do planejamento de implantação destas infraestruturas, considerando-se também a necessidade de universalização do abastecimento d'água em todo o país até 2033, conforme estabelecido pelo Novo Marco Regulatório do Saneamento (BRASIL, 2020), e levando-se ainda em conta que é necessário saber onde e quando aplicar importantes recursos quando estes forem disponibilizados, faz-se necessário, como temática dessa dissertação, o bom emprego de um Sistema de Suporte ao Planejamento para a Priorização da Implantação das Infraestruturas Hídricas da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano, que permita responder aos objetivos geral e específicos discriminados mais adiante.

1.3. Interrelação com os ODS da ONU

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) são 17 declarações globais, voluntárias e universalmente aplicáveis, com as quais todos os países são chamados à ação e gestão para erradicar definitivamente a pobreza e proteger o planeta, bem como garantir a paz e a prosperidade de todas as pessoas até 2030. Eles são também conhecidos como Objetivos Globais. Eles entraram em vigor e foram assumidos como um compromisso de todos os Estados Membros das Nações Unidas em 2015 e, a partir de janeiro de 2020, iniciou-se a Década de Ação para esses Objetivos (ONU BR, 2018).

Os 17 ODS e suas 169 metas estão interligados e reconhece-se que as intervenções em uma área afetarão os resultados de outras, e que o desenvolvimento deve ser equilibrado para alcançar a sustentabilidade, com base nas esferas ambiental, econômica e social. Os ODS pedem a todas as pessoas que pensem de forma criativa e deem um passo adiante no uso de dados/informações em todos os níveis, para desenvolver maneiras de descobrir quem ficou para trás e mudar o curso da história até 2030.

Cada um tem metas e indicadores específicos e são o guia ou marcam a chave para abordar o desenvolvimento sustentável mais adequado para os povos do mundo. Esta Agenda

Global de Desenvolvimento visa erradicar a pobreza, proteger o planeta e garantir a prosperidade de todos os seus habitantes.

Na Figura 3 representam-se os 17 ODS da ONU e a importância da interrelação entre seus objetivos e metas.

Figura 3 – ODS - Objetivos Globais para o Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU BR, 2018.

O presente estudo guarda relação direta com os seguintes ODS e Metas:

- a) ODS 6: **ÁGUA E SANEAMENTO - GARANTIR DISPONIBILIDADE E MANEJO SUSTENTÁVEL DA ÁGUA E SANEAMENTO PARA TODOS**
- *META 6.4 - Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores, assegurando retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez.*

Como um dos objetivos em vista nesta dissertação, visa-se assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para toda a população atendida pelo SAAP, tendo como meta alcançar o acesso universal e equitativo à água potável, reduzindo-se assim os problemas de escassez hídrica que assolam a região do Agreste Pernambucano.

b) ODS 9: INDÚSTRIA, INOVAÇÃO E INFRAESTRUTURA - CONSTRUIR INFRAESTRUTURA RESILIENTE, PROMOVER A INDUSTRIALIZAÇÃO INCLUSIVA E SUSTENTÁVEL, E FOMENTAR A INOVAÇÃO

- *META 9.1 - Desenvolver infraestrutura de qualidade, confiável, sustentável e resiliente, incluindo infraestrutura regional e transfronteiriça, para apoiar o desenvolvimento econômico e o bem-estar humano, com foco no acesso equitativo e a preços acessíveis para todos.*

A infraestrutura do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano vem sendo implantada pelo governo de Pernambuco, com apoio do Governo Federal, com base na gestão da qualidade e na sustentabilidade econômica e ambiental da região, de forma a promover o desenvolvimento e o bem-estar de sua população.

c) ODS 12: CONSUMO E PRODUÇÃO RESPONSÁVEIS - ASSEGURAR PADRÕES DE PRODUÇÃO E DE CONSUMO SUSTENTÁVEIS

- *META 12.2 - Até 2030, alcançar a gestão sustentável e o uso eficiente dos recursos naturais*

Uma das características do presente estudo é o de reconhecer a imperativa necessidade de melhorias na performance técnica do gerenciamento de perdas de água nos municípios da região abastecida pelo SAAP, buscando-se assim um uso mais eficiente e sustentável deste recurso natural fundamental.

1.4. Aderência às diretrizes do ProfÁgua

A dissertação aqui apresentada enquadra-se na Área de Concentração de Regulação e Governança de Recursos Hídricos e em consonância e aderência à Linha de Pesquisa de Segurança Hídrica e Usos Múltiplos da Água do ProfÁgua.

Neste sentido, a dissertação objetiva o desenvolvimento de métodos, modelos e instrumentos de planejamento para a gestão dos recursos hídricos de um conjunto de bacias na região do Agreste Pernambucano, região de alta importância social e econômica, com uma das mais baixas disponibilidades hídricas do país em relação às demandas de sua população.

A região do Agreste Pernambucano, crítica em termos de segurança hídrica, que sofre, além da extrema escassez de água, com a poluição de seus corpos d'água, enfrenta

frequentemente eventos hidrológicos extremos, como a recente e prolongada estiagem de 2015 a 2020, que levou seus reservatórios a níveis muito baixos.

Em vista disso, têm sido realizados investimentos públicos da ordem de bilhões de reais, para permitir levar a água do rio São Francisco e de outros mananciais às populações afetadas, através de infraestruturas hídricas complexas, como o PISF e o SAAP, de forma a garantir a segurança hídrica e a universalização do abastecimento d'água às populações.

2 OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Aplicação de uma metodologia de suporte ao planejamento para a priorização da implantação da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano (SAAP), contemplando múltiplos critérios de ponderação de fatores relevantes para uma tomada de decisão, de forma a se alcançar a segurança hídrica e a universalização do abastecimento d'água na região.

2.2. Objetivos específicos

Relacionam-se a seguir os objetivos específicos da dissertação, os quais foram alcançados em etapas subsequentes:

1. Caracterizar a região atendida pelo SAAP quanto aos meios físico, biótico e socioeconômico, realizando-se também um diagnóstico da segurança hídrica do abastecimento d'água da população urbana;
2. Definir o uso de uma metodologia de suporte à decisão para estabelecer a ordem de priorização da implantação dos diversos trechos da 2ª Etapa do SAAP, contemplando múltiplos critérios de ponderação dos fatores envolvidos para a decisão;
3. Identificar os trechos a serem priorizados da 2ª Etapa do SAAP;
4. Definir critérios e subcritérios relevantes para uma tomada de decisão quanto à priorização de implantação dos respectivos trechos;
5. Avaliar a importância relativa de cada critério e subcritério, de forma a se definir os pesos relativos a cada um na tomada de decisão;
6. Hierarquizar as etapas de implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP, com base nos resultados da aplicação do método, subsidiando assim a tomada de decisões pelos órgãos gestores e colegiados dos recursos hídricos a níveis federal, estadual e local, tais como o Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional (MIDR), a

ANA, a Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento de Pernambuco, a COMPESA e os Comitês de Bacias Hidrográficas presentes na região.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Planejamento e gestão dos recursos hídricos

Na economia, o planejamento é uma forma de combinar recursos escassos e necessidades abundantes. Nos recursos hídricos, o planejamento pode ser definido como um conjunto de procedimentos organizados visando o atendimento das demandas de água diante da limitada disponibilidade desse recurso.

Segundo Bacalhau (2015), a gestão dos recursos hídricos é uma forma de comparar e resolver problemas de escassez relativa dos recursos hídricos. O objetivo do planejamento é avaliar prospectivamente os requisitos e a disponibilidade desses recursos e alocá-los entre múltiplos usos para alcançar o máximo benefício econômico e social.

A gestão dos recursos hídricos significa o uso de medidas estruturais (construção de adutoras, implantação de barragens e estações de tratamento de água) e não estruturais (regulamentos contra o desperdício de água, zoneamento do uso do solo) para que os sistemas de água, naturais ou artificiais, possam ser usados nas atividades humanas de forma sustentável, conforme descrito por Grigg em 1996. Em 2009, Ioris afirmou que a gestão da água inclui tanto questões políticas e de desenvolvimento nacional, quanto práticas e tecnologias voltadas para a distribuição, uso e conservação da água, complementando assim o conceito original de Grigg.

A maximização dos benefícios e a minimização dos custos são enfatizadas entre os objetivos do planejamento. Segundo Goes (2012), esses problemas só podem ser resolvidos quantificando e qualificando as informações disponíveis, que são avaliadas por uma gestão responsável.

A tomada de decisão sobre os sistemas de recursos hídricos deve levar em consideração aspectos hidrológicos, ambientais, econômicos, políticos e sociais que mudam ao longo do tempo e estão associados a incertezas difíceis de quantificar. À medida que a demanda por água aumenta, os conflitos e disputas por esse recurso se intensificam, enquanto os sistemas de recursos hídricos tendem a se tornar maiores e mais complexos. Assim, a construção e o gerenciamento desses sistemas geralmente estão associados a grandes investimentos, longos prazos e políticas criteriosas de operação e manutenção. Estas

características requerem um planejamento estratégico que concilie eficiência econômica, sustentabilidade, flexibilidade e equidade (PORTO e AZEVEDO, 2002; PEDROSA, 2021).

Conforme relatado por destacados especialistas em gestão de recursos hídricos na região Nordeste, como Cirilo (2008), Alcoforado et al. (2011), Silva e Cirilo (2011) e Montenegro e Montenegro (2012), as características climáticas e socioeconômicas do semiárido brasileiro requerem tecnologias específicas para o uso e conservação dos recursos hídricos. Diferentes políticas hídricas voltadas para essa região têm buscado soluções alternativas para sistemas de produção de água, que abrangem a perfuração de poços em grande profundidade nas áreas sedimentares, a construção de cisternas rurais com a captação de água de chuva, metodologias para redução da evaporação e controle da salinização, o tratamento de efluentes e a reutilização de águas residuais, a instalação de barragens subterrâneas, a dessalinização, a construção de açudes, bem como a implantação de obras de integração de bacias hidrográficas, com o transporte de água por longas distâncias por meio de canais e adutoras.

Ainda, nas últimas décadas, houve avanços significativos na formulação de leis, programas e projetos para fortalecer a segurança hídrica no estado de Pernambuco. De acordo com Gouveia e Pedrosa (2015), as políticas governamentais para enfrentar a escassez de água no estado estão firmemente enraizadas e apoiadas por um amplo conjunto de dispositivos legais.

3.2. Análise de sistemas de recursos hídricos

Ribeiro (1990) considera a análise de sistemas de recursos hídricos uma ferramenta essencial para os profissionais da gestão de recursos hídricos.

A análise dos sistemas de recursos hídricos por Braga et al. (1998) é uma abordagem pela qual os componentes de um sistema de recursos hídricos e suas interações são descritos quantitativamente, por meio de equações matemáticas e funções lógicas. Em geral, busca-se uma combinação de elementos do sistema que possam fornecer o melhor resultado, preferencialmente o ótimo de uma função objetivo.

Segundo Goes (2012), a necessidade de representar fenômenos naturais complexos por meio dos diversos modelos existentes é essencial para o planejamento e gestão dos recursos hídricos. É através deles que se procura compreender os processos naturais e se analisa a

resposta do sistema a vários cenários, onde se recolhem os elementos necessários à tomada de decisões.

A simulação é uma técnica de modelagem usada para aproximar o comportamento de um sistema em um computador, representando todas as principais características do sistema usando uma descrição matemática.

De acordo com Mehrotra e Singh (1998), a utilização de modelos na área de recursos hídricos, de forma a apoiar o processo de planejamento e gestão dos recursos hídricos, é fundamental, principalmente devido à carência de dados hidroclimáticos e da criação de um cenário de uso dos recursos hídricos.

Os modelos de simulação, segundo Braga et al. (1998), são formados por expressões matemáticas estruturadas em sequência lógica, que descrevem a operação do sistema no espaço e no tempo. Seu objetivo é representar e operar o sistema com o máximo de detalhes possível e fornecer informações para avaliar o comportamento do sistema real.

A otimização é semelhante à simulação, exceto que um procedimento matemático é usado para ajustar as variáveis de decisão até que o procedimento encontre a melhor solução para o objetivo e as restrições impostas (MELO, 2010).

A maioria das técnicas depende da forma e das propriedades matemáticas da função objetivo e das restrições (MATEUS e LUNA, 1986; DAHLQUIST e BJORCK, 1974). Os modelos de otimização levam em consideração algum tipo de técnica de programação matemática e são classificados em: programação linear; programação dinâmica; programação não-linear e métodos heurísticos (Algoritmos genéticos, *simulated annealing*, entre outros).

3.3. Métodos multicritérios de análise de decisão

Segundo Schmidt (1995), até a década de 1940, as decisões eram tomadas a partir de análises baseadas em princípios econômicos. No entanto, a teoria econômica simplificou a situação real; negligenciava a questão das unidades microeconômicas básicas e as vantagens do trabalho multidisciplinar não eram suficientemente conhecidas e divulgadas. Assim, eram necessárias novas técnicas e modelos, que criassem condições para uma interpretação mais precisa de problemas reais e auxiliassem na tomada de decisões. No início da década de 1970, surgiram duas correntes científicas de análise de decisão: a Escola Francesa e a Escola

Americana, que consideravam a necessidade de incluir outros valores na análise, além dos econômicos e financeiros.

Em relação aos recursos hídricos, percebe-se que, até a década de 1990, as iniciativas para o seu planejamento e gestão se caracterizavam pela utilização de horizontes analíticos de curto prazo, pela hegemonia técnico-institucional nas tomadas de decisão, setorização da gestão e relativa facilidade de financiamento de projetos públicos e privados. Neste contexto, conforme descrito por Gonçalves (2001), a Análise Custo-Benefício era amplamente utilizada como ferramenta auxiliar no processo de tomada de decisão.

Segundo Gomes et al. (2004), os métodos multicritério de apoio à decisão surgiram na década de 1970, para ajudar os decisores a resolver problemas com múltiplos objetivos a serem alcançados simultaneamente. Esses métodos ainda permitem que características importantes sejam consideradas, mesmo que sejam não quantitativas. No entanto, a grande quantidade de informações necessárias para avaliar cada alternativa e a subjetividade são as principais desvantagens.

Existem alguns métodos para avaliação de alternativas, entretanto não há consenso dos especialistas para a escolha do mais adequado em cada estudo (ORTOLANO, 1997 apud CASTRO, 2007). Dentre estes, podem ser citados o Método de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process — AHP*), Teoria de Utilidade Multiatributo, métodos da família Electre, Prométhée, entre outros. Os dois primeiros são representantes da Escola Americana e os outros dois da Escola Francesa de Apoio Multicritério à Decisão.

A gestão dos recursos hídricos é uma tarefa complexa que visa garantir o desenvolvimento econômico e melhorar a qualidade de vida das pessoas nas décadas subsequentes (SHANNON et al., 2008). Dessa forma, as soluções propostas para garantir o abastecimento d'água devem estar vinculadas a uma infraestrutura adequada e uma gestão institucional forte e focada em garantir a sustentabilidade desse recurso. Assim, vários critérios devem ser considerados para representar os benefícios não econômicos de uma nova infraestrutura de abastecimento d'água (por exemplo, tempo operacional, configuração da infraestrutura, risco operacional, fatores sociais e ambientais).

Segundo Eggimann et al. (2017), a complexidade dos problemas de tomada de decisão em sistemas de abastecimento d'água requer a integração de múltiplos critérios, modelos e fontes de dados, o que confirma, de acordo com Lienert et al. (2015), que o uso da Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD) é uma abordagem adequada para lidar com problemas de planejamento e gestão de recursos hídricos, incluindo a identificação e seleção de novas infraestruturas de abastecimento d'água.

Os MMAD têm sido empregados em aplicações de gestão sustentável da água, como sustentabilidade de recursos hídricos no contexto de gestão de bacias hidrográficas (KANG e LEE, 2011; CHUNG e LEE, 2009; AL-ZU'BI et al., 2002), planejamento e gestão de drenagem urbana (ENNAOURI e FUAMBA, 2013; AHAMMED et al., 2012; MARTIN et al., 2007; BENZERRA et al., 2012) e planejamento e uso de infraestruturas de esgotamento sanitário (KIM et al., 2013; ZHENG et al., 2016).

Nesta dissertação se visa aplicar uma metodologia baseada em MMAD para melhorar o processo de tomada de decisão para a seleção de uma nova infraestrutura de abastecimento d'água que considere tanto critérios econômicos quanto não econômicos. Segundo Hajkowicz e Collins (2007), os MMAD consistem em uma abordagem estruturada para medir o desempenho de alternativas que são baseadas em múltiplos atributos. De acordo com Lai et al. (2008), os diferentes métodos que se enquadram nesta categoria podem apoiar o processo de análise de decisão para questões em que mais de um critério – também conhecido como atributo – é avaliado simultaneamente. Essas ferramentas de análise de decisão permitem a inclusão de importância relativa, ou peso, para cada critério. O peso, segundo Castillo (2006), é usado para classificar o desempenho das alternativas a serem implementadas em relação aos critérios selecionados. Roy (2005) afirma que esses métodos têm o impacto potencial de melhorar a transparência, auditabilidade e rigor analítico dos processos de tomada de decisão em contextos complexos.

Várias técnicas de MMAD são discutidas na literatura. Figueira et al. (2005) desenvolveram um estado da arte exaustivo deste campo, conforme apresentado adiante na

Figura 4. As técnicas de MMAD podem ser classificadas em categorias como métodos de subordinação ou outranking, Teoria da Utilidade Multiatributo (*Multi-attribute Utility Theory – MAUT*) e Teoria de Valor Multiatributo (*Multi-attribute Value Theory - MAVT*), métodos de comparação de pares, métodos baseados em distância e teoria dos conjuntos difusos (*fuzzy set theory*). As metodologias MMAD e sua implementação são um campo de pesquisa relevante, dado seu impacto na melhoria do processo de tomada de decisão em ambientes e problemas complexos. Inúmeras técnicas de MMAD oferecem aos tomadores de decisão e analistas a oportunidade de abordar de forma adequada e eficaz os problemas de decisão.

Os MMAD têm sido amplamente aplicados para apoiar processos de tomada de decisão para questões relacionadas à gestão e planejamento de recursos hídricos em vários estudos de caso de abastecimento d'água urbano (HAJKOWICZ e COLLINS, 2007; LAI et al., 2008; HAJKOWICZ e HIGGINS, 2008). Kabir et al. (2014) revisaram mais de 300 MMAD publicados para gerenciamento de infraestruturas de 1980 a 2012, incluindo 68 aplicações de sistemas de recursos hídricos. Essas publicações incluíam uma extensa distribuição de métodos, incluindo ELECTRE, PROMETHEE, MAUT, Processo de Análise Hierárquica (Analytic Hierarchy Process - AHP), técnica de ordem de preferência por similaridade com a solução ideal (TOPSIS), programação de compromisso (CP) e métodos combinados.

MAUT e MAVT são métodos MMAD bem conhecidos que foram implementados em vários casos de infraestruturas de planejamento hídrico urbano. Lienert et al. (2015) desenvolveram um procedimento de tomada de decisão estruturada para garantir a sustentabilidade do planejamento da infraestrutura hídrica, que se baseia criticamente no feedback das partes interessadas e em quatro cenários, usando uma abordagem MAUT em um estudo de caso suíço. Da mesma forma, Scholten et al. (2015) empregaram um modelo MAUT para considerar a preferência de dez atores diversos para classificar e avaliar a

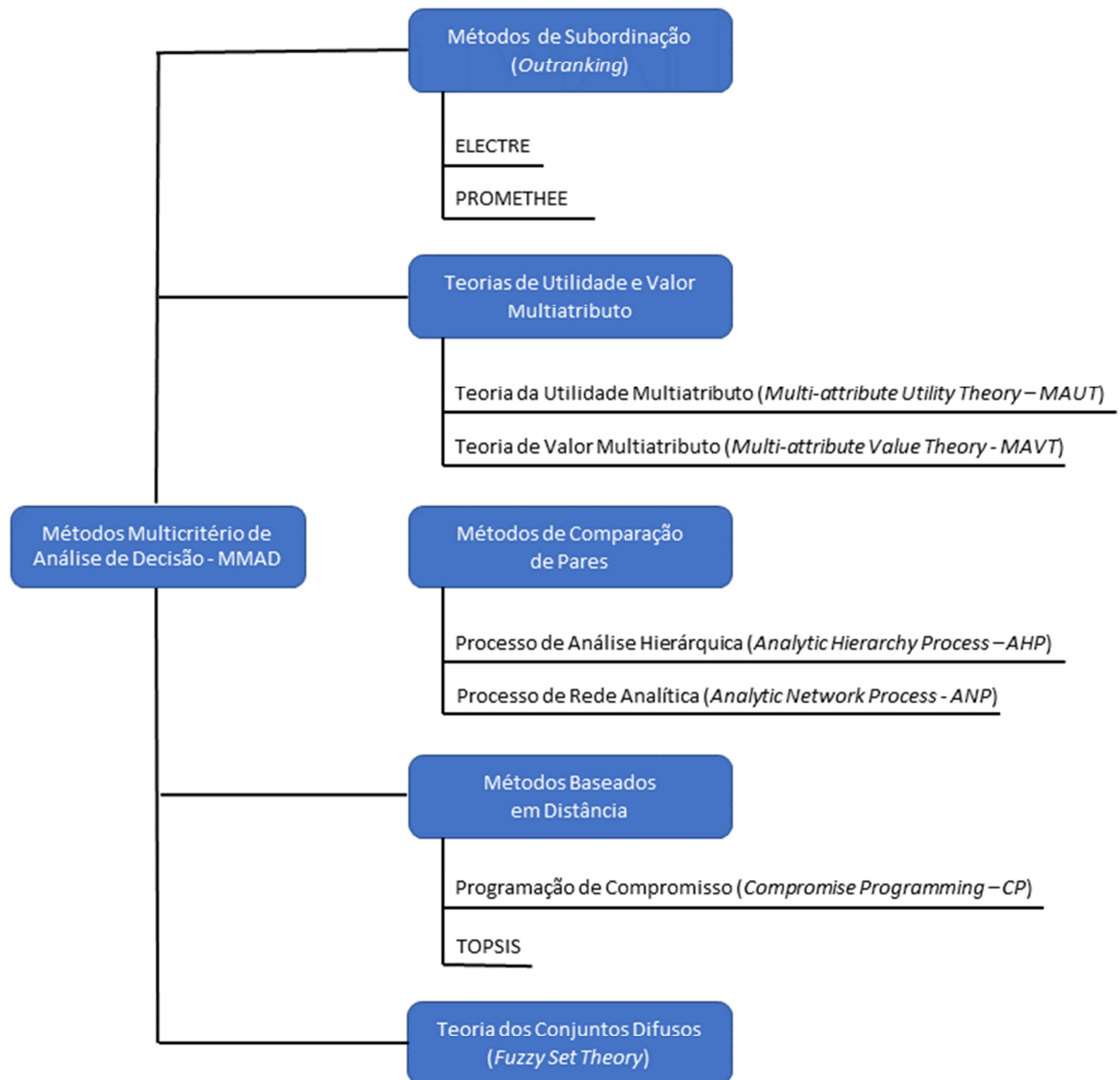
incerteza de onze alternativas de infraestrutura de abastecimento d'água para a região de Mönchaltorfer Aa, na Suíça.

Um dos métodos de comparação de pares mais amplamente utilizados é o AHP. Okeola e Sule (2012) usaram uma abordagem AHP para selecionar a melhor de três alternativas de operação de gestão para um novo esquema de abastecimento urbano de água na cidade de Offa, Nigéria. A conclusão foi que a melhor opção de gestão para o sistema era a propriedade e operação públicas. Da mesma forma, Jaber e Mohsen (2001) implementaram uma abordagem AHP para avaliar alternativas não convencionais de abastecimento hídrico para garantir a disponibilidade e sustentabilidade da água na Jordânia. Eles também concluíram que a dessalinização e a captação de água de chuva foram soluções superiores às águas residuais tratadas e à importação de água como soluções potenciais para a escassez de água no país.

No Brasil, o método AHP foi utilizado por Lopes et al. (2011) em um estudo para a priorização da reabilitação de redes de distribuição de água, que abastecem uma população da ordem de 31 mil habitantes, operada por uma Autarquia Municipal. Vilas Boas (2006) fez uso do AHP em sua dissertação de mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente, com o intuito de auxiliar os tomadores de decisão nas questões inerentes ao uso multipropósito da água do reservatório do ribeirão João Leite, em Goiás. Mais recentemente, este mesmo método foi utilizado para auxiliar na seleção de materiais para a ampliação do sistema de esgotamento sanitário de Camaçari e Dias d'Ávila, na Bahia (IICA-EMBASA, 2019), para subsídio à definição de áreas prioritárias para a recuperação ambiental no âmbito do Programa Juntos pelo Araguaia (MDR, 2020), para a orientação de áreas prioritárias para ações para revitalização de bacias hidrográficas do Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas (PNRBH) (MDR, 2022), bem como na seleção da sub-bacia hidrográfica piloto para estudos de enquadramento dos corpos d'água no âmbito da implementação das ações chave do Plano de Gestão de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Rio Paraguai (BID, 2022).

Outras metodologias, como CP e PROMETHEE, também foram implementadas na tomada de decisões de infraestrutura hídrica urbana e outras aplicações de gestão de recursos hídricos. Abrishamchi et al. (2005) propuseram a abordagem CP para orientar os tomadores de decisão na seleção da melhor alternativa de intervenção na infraestrutura de abastecimento d'água da cidade de Zahidan, Irã. Além disso, Kodikara et al. (2010) desenvolveram um método de classificação PROMETHEE para avaliar regras alternativas de operação para sistemas de reservatórios de abastecimento d'água urbano em Melbourne, Austrália.

Figura 4 - Classificação da técnica de Métodos Multicritérios de Análise de Decisão (MMAD)



Fonte: FIGUEIRA et al., 2005. Adaptada pelo autor, 2023.

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. Base de informações

As principais bases de informações utilizadas para a caracterização da área em estudo foram a Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (PERH|PE), lançada pela Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco em Dezembro/2022, e que tem por objetivo o planejamento do uso dos recursos hídricos no estado, garantindo a sua qualidade, disponibilidade, conservação e aproveitamento de forma racional, em benefício das gerações atuais e futuras, ensejando o desenvolvimento sustentável, e o Atlas Águas – Segurança Hídrica para o Abastecimento Urbano, elaborado pela ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (2021) com a colaboração dos prestadores de serviço de abastecimento de água e de parceiros institucionais, atualizando e aprimorando o Atlas Brasil: abastecimento urbano de água (ANA, 2010).

O PERH|PE procedeu a um diagnóstico completo, com a sistematização, análise de consistência e consolidação de documentos e bancos de dados de estudos já realizados no Estado de Pernambuco, bem como a concretização de uma avaliação integrada e contextualizada dos ambientes naturais (biótico, físico e de recursos hídricos) e antrópico (socioeconômico) de todo o estado.

Já o Atlas Águas incorporou conceitos e ferramentas do Plano Nacional de Segurança Hídrica (ANA, 2019), avançando no diagnóstico e no planejamento da segurança hídrica na dimensão específica do abastecimento de água nas cidades brasileiras (ANA, 2021). Ele parte da avaliação de todos os mananciais e sistemas de abastecimento urbano de água e indica soluções para as demandas atuais, considerado o ano de 2025 como data base, e futuras para as 5.570 sedes urbanas, considerando o horizonte de 2035. O Atlas reúne o diagnóstico e o planejamento referentes às principais obras e ações de gestão para o atendimento das demandas hídricas do país e apresenta os investimentos necessários para o atendimento de 100% da população urbana, tanto para o componente de produção de água, que abrange da captação ao tratamento, como para a distribuição de água.

Outras bases de informações também foram consultadas, como o INMET (2022), SNIS (2020) e o Ministério da Saúde (2022).

4.2. Unidades de planejamento de recursos hídricos

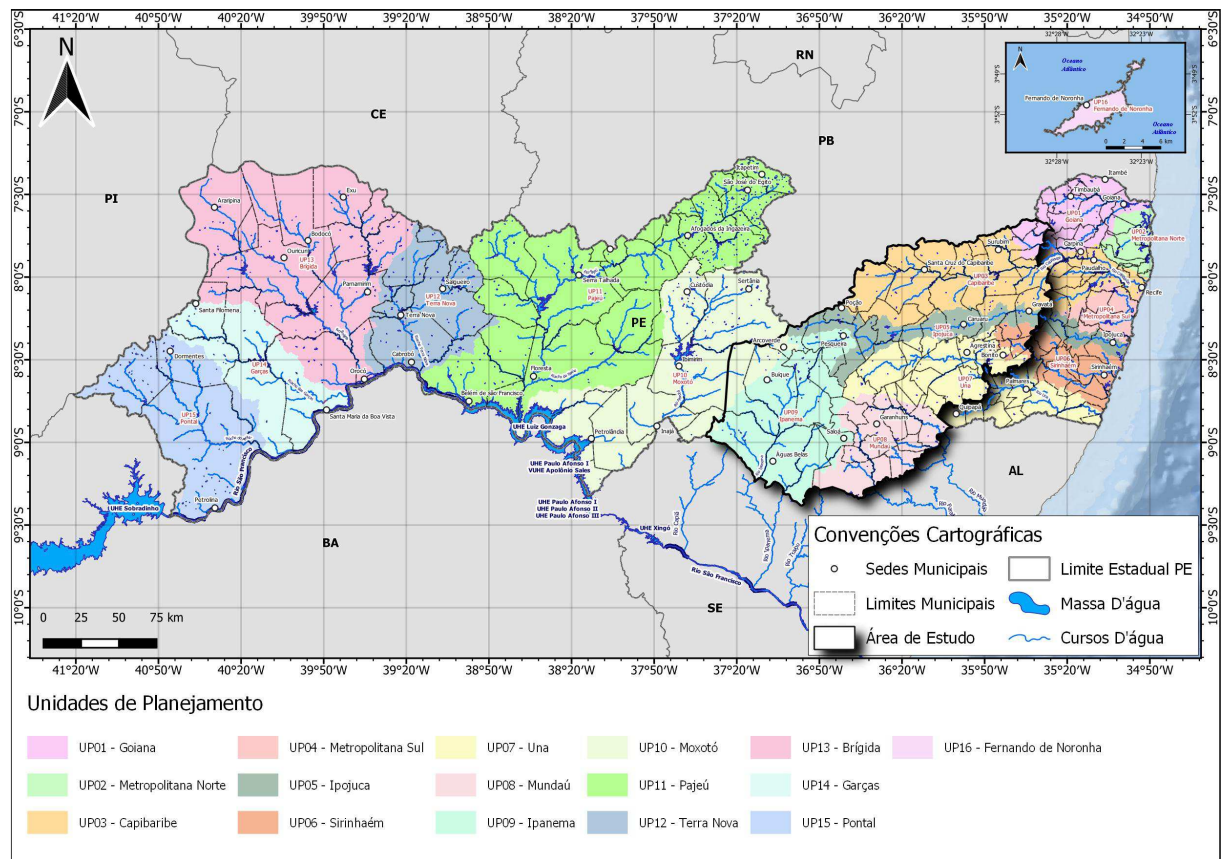
Segundo a ANA (2016), as Unidades de Planejamento Hídrico – UPH, consistem em subdivisões das bacias hidrográficas estudadas, caracterizadas por uma homogeneidade de fatores geomorfológicos, hidrográficos e hidrológicos que permitem a organização do planejamento e do aproveitamento dos recursos hídricos ali existentes. As UPHs são formadas por bacias ou sub-bacias hidrográficas de rios afluentes ou segmentos das bacias dos rios principais, com continuidade espacial.

As Unidades de Planejamento Hídrico analisadas nesta dissertação consistem nas UPs (Unidades de Planejamento) definidas na atualização do PERH/PE, que estabeleceu dezesseis subdivisões de UPHs para o estado de Pernambuco, quais sejam: UP01 Rio Goiana; UP02 – Metropolitana Norte; UP03 Rio Capibaribe; UP04 - Metropolitana Sul; UP05 Rio Ipojuca; UP06 Rio Sirinhaém; UP07 Rio Una; UP08 Rio Mundaú; UP09 Rio Ipanema; UP10 Rio Moxotó; UP11 Rio Pajeú; UP12 Rio Terra Nova; UP13 Rio Brígida; UP14 Riacho das Garças; UP15 Riacho do Pontal e UP16 Fernando de Noronha.

Pelo destaque da área de estudo, apresentado na Figura 5, é possível notar a presença de oito destas Unidades de Planejamento; são elas: UP01 Goiana; UP03 Capibaribe; UP05 Ipojuca; UP06 Sirinhaém; UP07 Una; UP08 Mundaú; UP09 Ipanema e UP10 Moxotó.

Como forma de quantificar cada Unidade de Planejamento dentro da área de estudo desta dissertação, elaborou-se a Tabela 1, representando as áreas em hectares e percentagens das UP's, contemplando um total de 2.436.046,40 ha.

Figura 5 - Unidades de planejamento hídrico



Fonte: O autor, 2023.

Tabela 1 - Unidades de planejamento hídrico, área total e % na área de estudo

| Unidas de Planejamento | Área Total (ha) | % na Área de Estudo (%) |
|------------------------|---------------------|-------------------------|
| UP01 - Goiana | 46.039,76 | 1,89% |
| UP03 - Capibaribe | 578.708,79 | 23,76% |
| UP05 - Ipojuca | 279.247,36 | 11,46% |
| UP06 - Sirinhaém | 46.153,48 | 1,89% |
| UP07 - Una | 397.174,35 | 16,30% |
| UP08 - Mundaú | 351.895,86 | 14,45% |
| UP09 - Ipanema | 632.959,29 | 25,98% |
| UP10 - Moxotó | 103.867,52 | 4,26% |
| TOTAL | 2.436.046,40 | 100% |

Fonte: O autor, 2023.

No que concerne ao número de sedes municipais contempladas, a UP07-Una, UP03-Capibaribe, UP08-Mundaú e UP09-Ipanema são as que possuem o maior número, com 16, 15, 12 e 10 sedes em sua área de abrangência, respectivamente.

Já entre as sedes municipais mais populosas, com estimativas de mais de 70.000 habitantes em 2022, destacam-se Caruaru e Gravatá, na UP05-Ipojuca, Garanhuns, na UP08-Mundaú e Sana Cruz do Capibaribe, na UP03-Capibaribe.

4.3. Meio físico

4.3.1. Clima

A área de estudo está localizada no Estado de Pernambuco que por sua vez inclui-se na região Nordeste do Brasil, onde se insere o semiárido, estando com boa parte do seu território no “Polígono das Secas”, área caracterizada por apresentar balanço hídrico negativo, resultado de precipitações médias anuais inferiores a 800mm, temperaturas médias anuais na ordem de 23° a 29° C; evaporação de 2.000 mm/ano, umidade relativa do ar média em torno de 50%. (Lins e Burgos, 1985 apud PERH|PE 2020 p.84).

Para a análise dos dados de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar da área de estudo fez-se uso das Normais Climatológicas do Período de 1991 a 2020, disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (2022), cujas estações com dados disponíveis para estes parâmetros climáticos estão indicadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Relação de estações climatológicas utilizadas no estudo

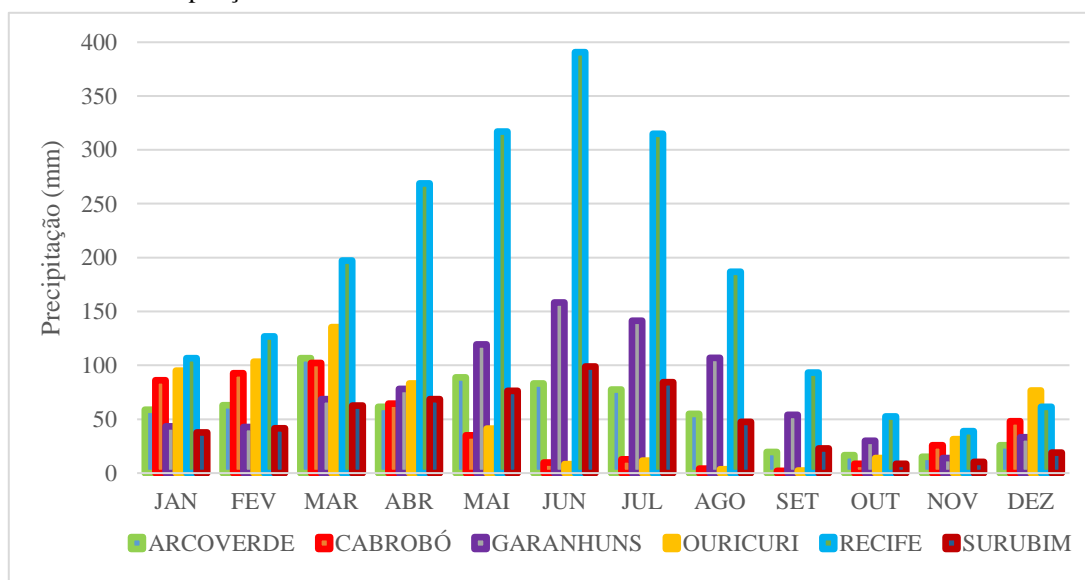
| Estações | Código |
|-----------------|---------------|
| ARCOVERDE | 82890 |
| CABROBÓ | 82886 |
| GARANHUNS | 82893 |
| OURICURI | 82753 |
| RECIFE (CURADO) | 82900 |
| SURUBIM | 82797 |

Fonte: INMET, 2022.

4.3.1.1. Precipitação

A variável climática da precipitação foi analisada para a área de estudos em termos de valores anuais médios entre 1991 e 2020. Os totais anuais apresentados mais adiante nas isoietas da Figura 6, integradas com as temperaturas, e no Gráfico 1, demonstram que a precipitação tende a aumentar de oeste para leste, ou seja, do continente para o oceano, sendo perceptível, à medida em que as estações estão mais próximas do litoral, que a pluviosidade da área aumenta consideravelmente.

Gráfico 1 – Precipitação mensal acumulada



Fonte: INMET, 2022.

Verifica-se, a partir das informações analisadas na área de estudo, que no decorrer dos 30 anos de registros contínuos, alcança-se uma média anual de 895,58 mm. Ao analisar o Gráfico 1, nota-se que as estações com as menores médias são as de Ouricuri e Cabrobó, justamente as mais distantes do litoral. Outro fator para se interpretar, refere-se à estação do ano comparada com as precipitações, tendo as demais estações precipitações consideráveis no inverno e um decaimento nos meses do outono, com pouquíssima pluviosidade no verão, permanecendo somente as estações de Ouricuri e Cabrobó com um padrão bem distinto das demais estações analisadas. Vale apontar que a estação pluviométrica localizada na cidade de Garanhuns, devido a estar localizada em uma região de Brejos de Altitude, apresenta microclima diferenciado em seu entorno, com temperaturas mais amenas e, por efeito orográfico, pluviosidade superior às áreas circunvizinhas. No que tange a uma anomalia no

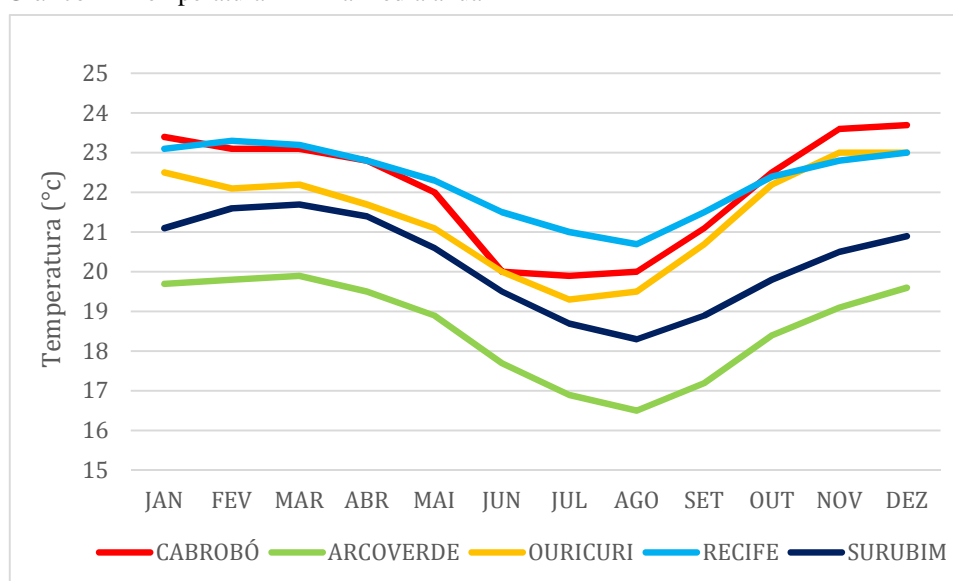
gráfico, proporcionada pela curva da estação de Recife, esta refere-se, principalmente, ao fenômeno da Maritimidade, que proporciona constantes precipitações ao longo do ano no litoral, como é de se esperar, as precipitações atingem uma média anual bem superior às demais que adentram o continente.

4.3.1.2. Temperatura

Os dados quantitativos referentes às estações com dados disponíveis nas Normais Climatológicas 1991-2020 estão destacados no Gráfico 2, Gráfico 3 e Gráfico 4, representando as temperaturas mínimas, médias e máximas da região de estudo, com uma análise temporal de 30 anos, disponibilizados pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia).

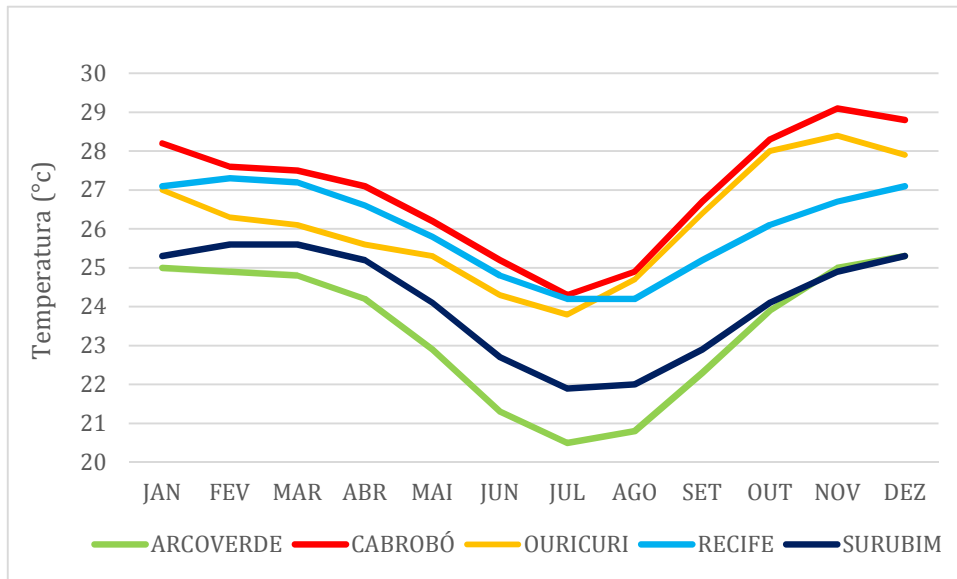
Os resultados obtidos foram quantificados e espacializados, com informações obtidas por interpolação de algumas estações, obtendo-se as seguintes informações para o período: a temperatura mínima média anual na região de estudo oscila entre 16,5°C a 23,7°C (Gráfico 2); a temperatura média anual oscila entre 20,5°C a 29,1°C (Gráfico 3); e a temperatura média máxima anual oscila entre 25,7°C a 34,9°C (Gráfico 4).

Gráfico 2 - Temperatura mínima média anual



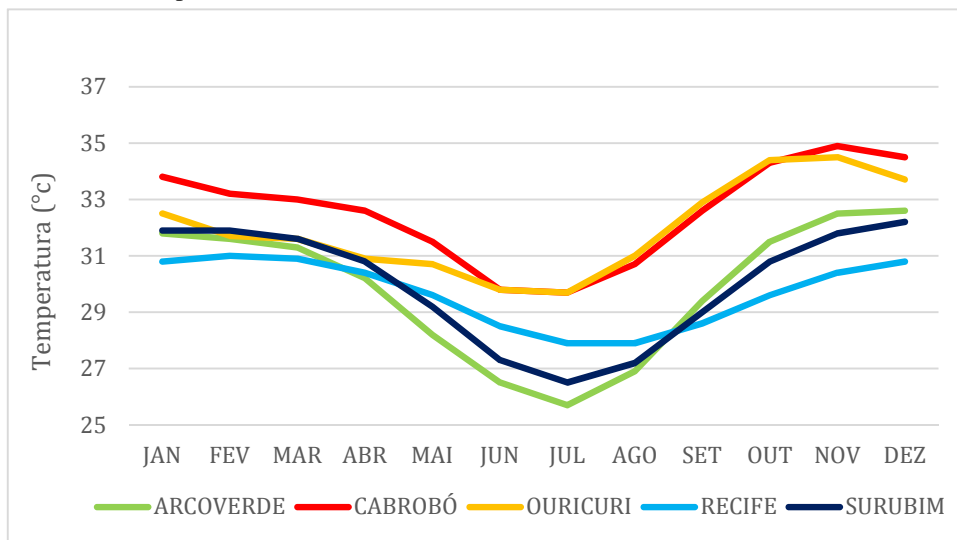
Fonte: INMET, 2022.

Gráfico 3 - Temperatura média anual



Fonte: INMET, 2022.

Gráfico 4 - Temperatura máxima média anual



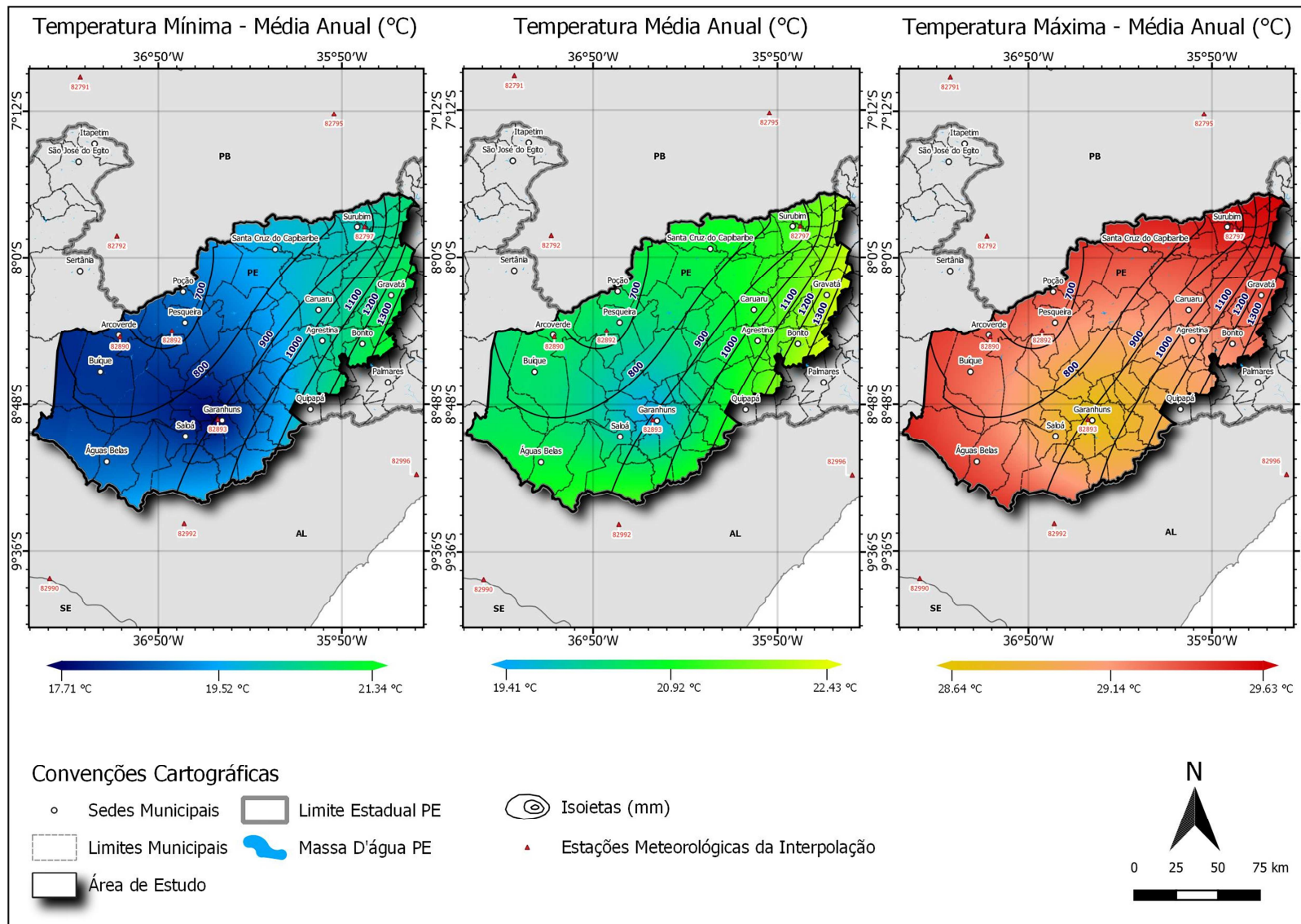
Fonte: INMET, 2022.

Segundo o Gráfico 2, as estações de Arcoverde e Surubim são aquelas que apresentam as menores temperaturas mínimas médias anuais. Segundo o Gráfico 3, a temperatura média anual mais alta é contemplada pela estação de Cabrobó e a mais baixa pela estação de Arcoverde. No que tange às temperaturas máximas médias anuais, destacadas no Gráfico 4, as estações de Ouricuri e Cabrobó são aquelas com maiores valores registrados.

As espacializações dos dados de temperatura estão contempladas na Figura 6, com a representação das temperaturas mínimas médias, médias e máximas médias anuais para a área de estudo, além das isoietas de precipitação.

Ao analisar a Figura 6, nota-se um padrão meteorológico que destaca os baixos valores de temperatura no entorno do município de Garanhuns. Fazendo uma análise integrada com o mapa hipsométrico, Figura 8 mais adiante, verifica-se ser uma região de grandes altitudes, tendendo assim a apresentar temperaturas mais baixas, se comparado às áreas de baixa altitude como as da bacia do rio Ipanema, ao sudoeste da área, bem como às da bacia do rio Capibaribe, mais a nordeste da área de estudo, que apresentam padrões de temperatura mais elevados nas diferentes escalas analíticas de máxima, média e mínima. Além disso, é possível visualizar o padrão de precipitação, destacado pelas isoietas, crescentes no sentido oeste a leste, ou seja, a maritimidade contribui, diretamente, para esse padrão de precipitação, que tende a diminuir quando adentra ao sertão nordestino.

Figura 6 – Relação integrada de temperaturas anuais e isoietas

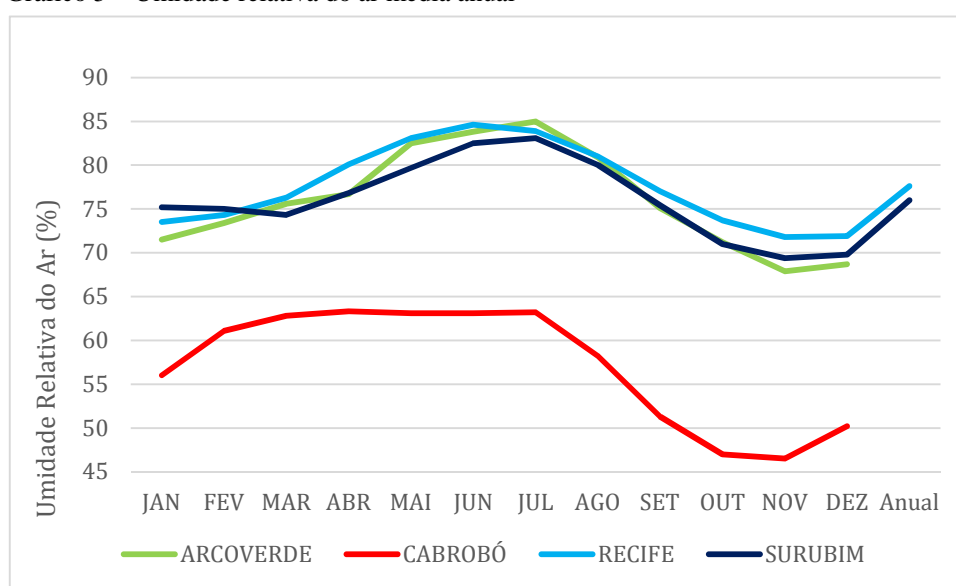


Fonte: O autor, 2023.

4.3.1.3. Umidade Relativa do Ar

Ao longo do ano, observa-se que o período com maior índice de Umidade Relativa do Ar é justamente aquele no qual ocorrem as menores evaporações. Na área de estudo, os índices de maiores valores encontram-se entre os meses entre abril a agosto. Já os meses entre setembro e março são aqueles que apresentam os valores mais baixos, como destaca-se no Gráfico 5.

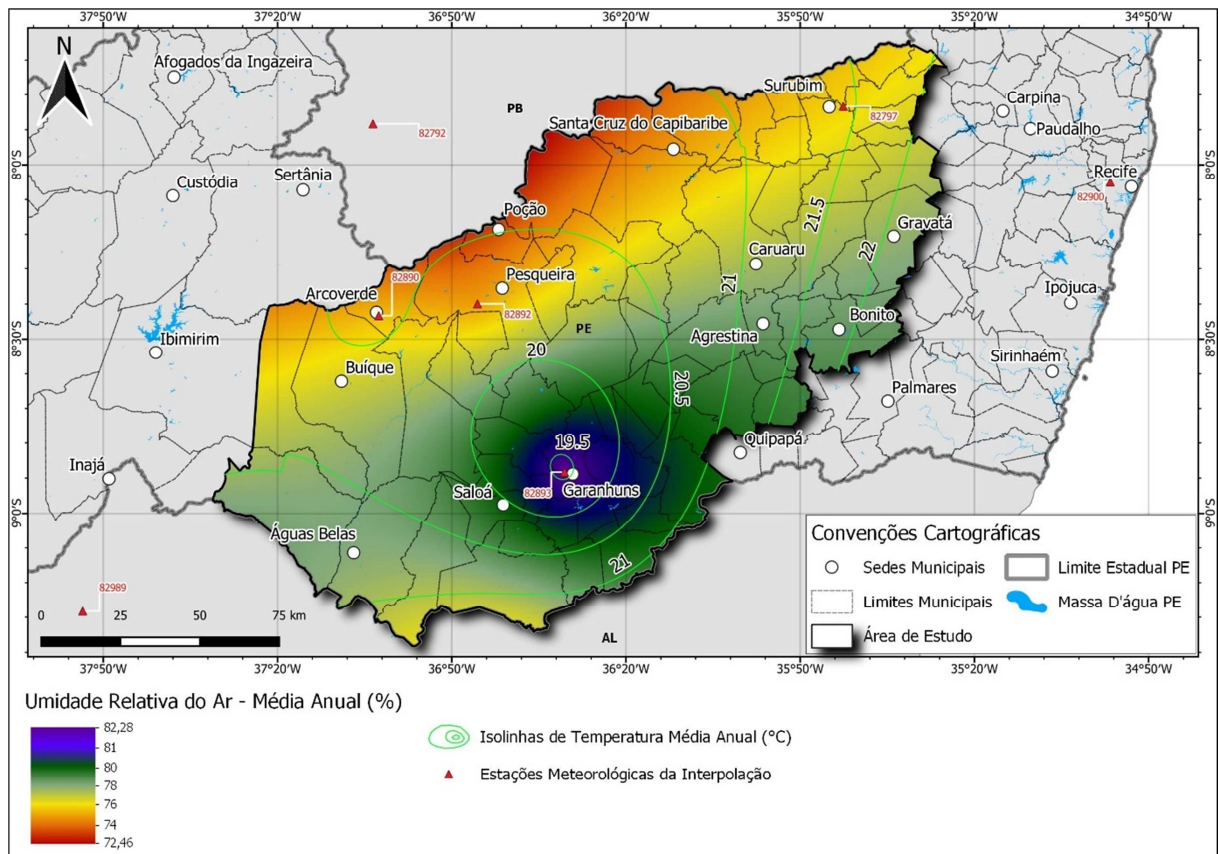
Gráfico 5 – Umidade relativa do ar média anual



Fonte: INMET, 2022.

Como observado no Gráfico 5, as estações de Recife, Arcoverde e Surubim apresentam os maiores índices da umidade relativa média do ar, bem distinto da estação Cabrobó, que apresenta valores de umidade mais baixos. A espacialização desses dados pode ser analisada na Figura 7, juntamente com as temperaturas médias anuais, observando-se que as menores temperaturas e maiores umidades relativas ocorrem no entorno de Garanhuns, áreas de maior altitude na região. Já as menores umidades relativas, onde se registram temperaturas um pouco mais altas, estão presentes nos municípios próximos à divisa de Pernambuco com a Paraíba, observando-se um claro gradiente de umidade relativa na região, crescendo de sudeste para noroeste.

Figura 7 – Relação integrada de umidade relativa do ar e temperatura



Fonte: O autor, 2023.

4.3.2. Relevo

O relevo de uma bacia hidrográfica tem grande influência sobre os fatores meteorológicos e hidrológicos, pois a velocidade do escoamento superficial é determinada pela declividade do terreno, enquanto, a temperatura, a precipitação e a evaporação são funções da altitude da bacia (Linsley et al., 1975; Vilella e Mattos, 1975).

4.3.2.1. Hipsométrico

Segundo Trentin e Robaina (2005) o mapa referente à hipsometria tem fundamental importância na análise da energia do relevo, indicando condições mais propícias à dessecação para as áreas com maiores altitudes e de acumulação para as áreas com as menores altitudes.

A variação da altitude média de uma área é um dos importantes fatores relacionados à temperatura e precipitação. A área em estudo é bem extensa, possuindo variações significativas de altitude, que podem ser analisadas de forma quantitativa como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 – Hipsometria

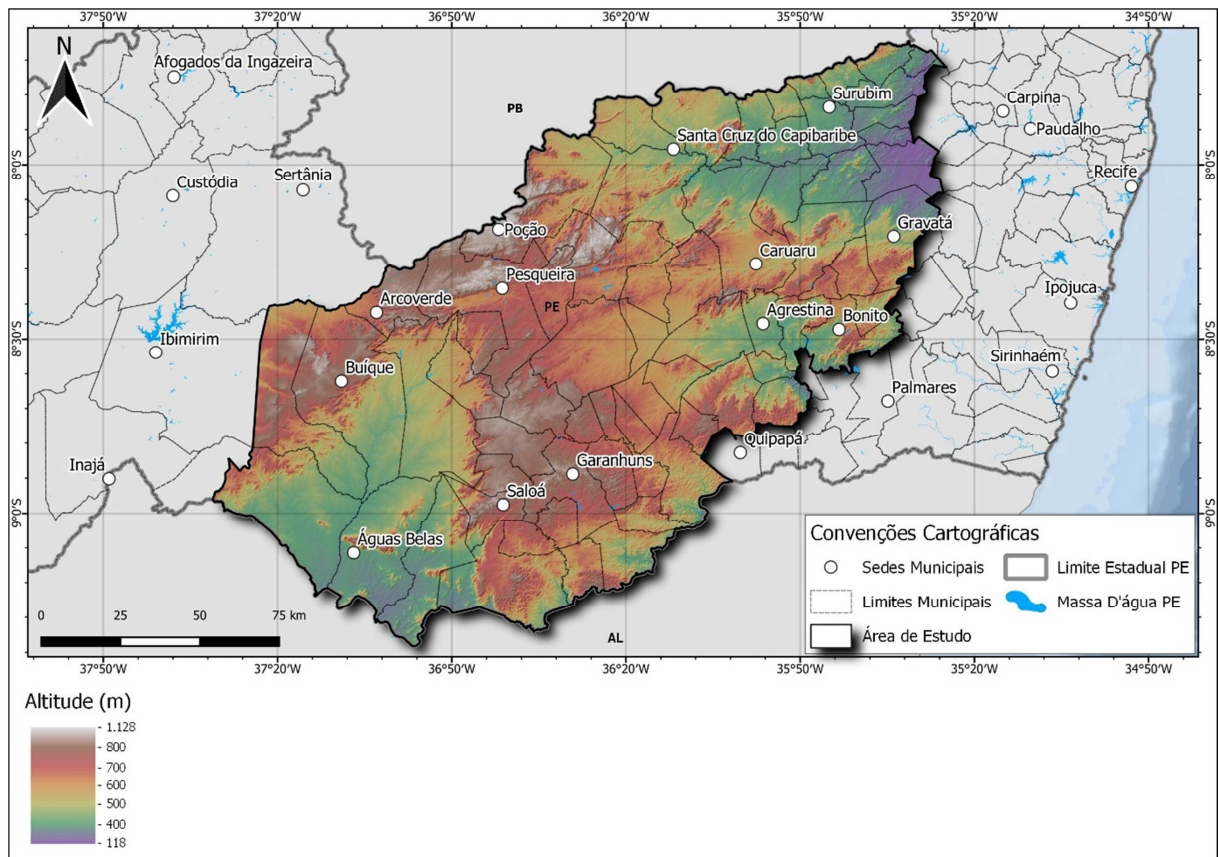
| Classe de Altitude (m) | Área (ha) | Área (%) |
|-------------------------------|---------------------|-----------------|
| 118 - 400 | 334.040,55 | 13,71% |
| 401 - 500 | 517.397,95 | 21,24% |
| 501 - 600 | 495.836,80 | 20,35% |
| 601 - 700 | 491.090,89 | 20,16% |
| 701 800 | 333.433,48 | 13,69% |
| 801 - 1.128 | 264.246,73 | 10,85% |
| TOTAL | 2.436.046,40 | 100,00% |

Fonte: O autor, 2023.

A partir da análise da Tabela 2, pode-se notar que existe uma grande variação na altitude em toda a sua área de 2.436.046,40 ha, ou seja, trata-se de uma superfície muito extensa que abrange distintas atuações de atividades endógenas e exógenas. Ao analisar essa Tabela, nota-se que as altitudes menores que 500 metros contemplam 33,94% da área, de 501 a 700 m tem-se 40,51%; e acima de 700 metros são contemplados por 24,54% da área total de estudo.

Na espacialização dos dados hipsométricos, destacados pela Figura 8, nota-se uma variação significativa ao sudoeste e a nordeste da área de estudos, indicando os fluxos de drenagem. A variação de altitude vai de 118 metros, nas áreas mais próximas ao litoral, ao leste, até as áreas mais altas com 1.128 metros nas regiões mais centrais da área de estudo, próximo aos municípios de Pesqueira, Poção, Saloá e Garanhuns. A partir dos dados hipsométricos, é possível notar, também, os interflúvios de bacias hidrográficas e os fluxos de drenagem, o que deixa notória a presença de dois grandes fluxos de drenagem, um ao leste, indo ao encontro do oceano atlântico, representado principalmente pela bacia do Rio Capibaribe e outro, ao sul, indo em direção ao Rio São Francisco, contemplado notadamente pela bacia do Rio Ipanema, como pode ser conferido no mapa de hidrografia, Figura 10 apresentada mais adiante.

Figura 8 - Hipsometria



Fonte: O autor, 2023.

4.3.2.2. Declividade

A declividade tem relação importante com vários processos hidrológicos, tais como a infiltração, a umidade do solo e o escoamento superficial, dentre outros. É um dos fatores principais que regula o tempo de duração do escoamento superficial e de concentração da precipitação nos leitos dos cursos de água.

Quanto maior a declividade de um terreno, maior a velocidade de escoamento, que consequentemente gera um menor tempo de concentração e maiores as perspectivas de picos de enchentes. A magnitude desses picos de enchentes e a infiltração da água trazem, como consequência, maior ou menor grau de erosão, o que depende diretamente da declividade média da bacia, associada à cobertura vegetal, aos tipos de solo da região, e do uso e cobertura do solo.

Para representação da declividade média na bacia, foi utilizado um modelo digital de elevação (MDE), obtido através do Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, no qual os

dados de *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) estão disponíveis para as áreas de estudo. Na Tabela 3 observa-se a representação quantitativa em classes de declividade do terreno na área do estudo.

Tabela 3 - Classes de declividade do terreno

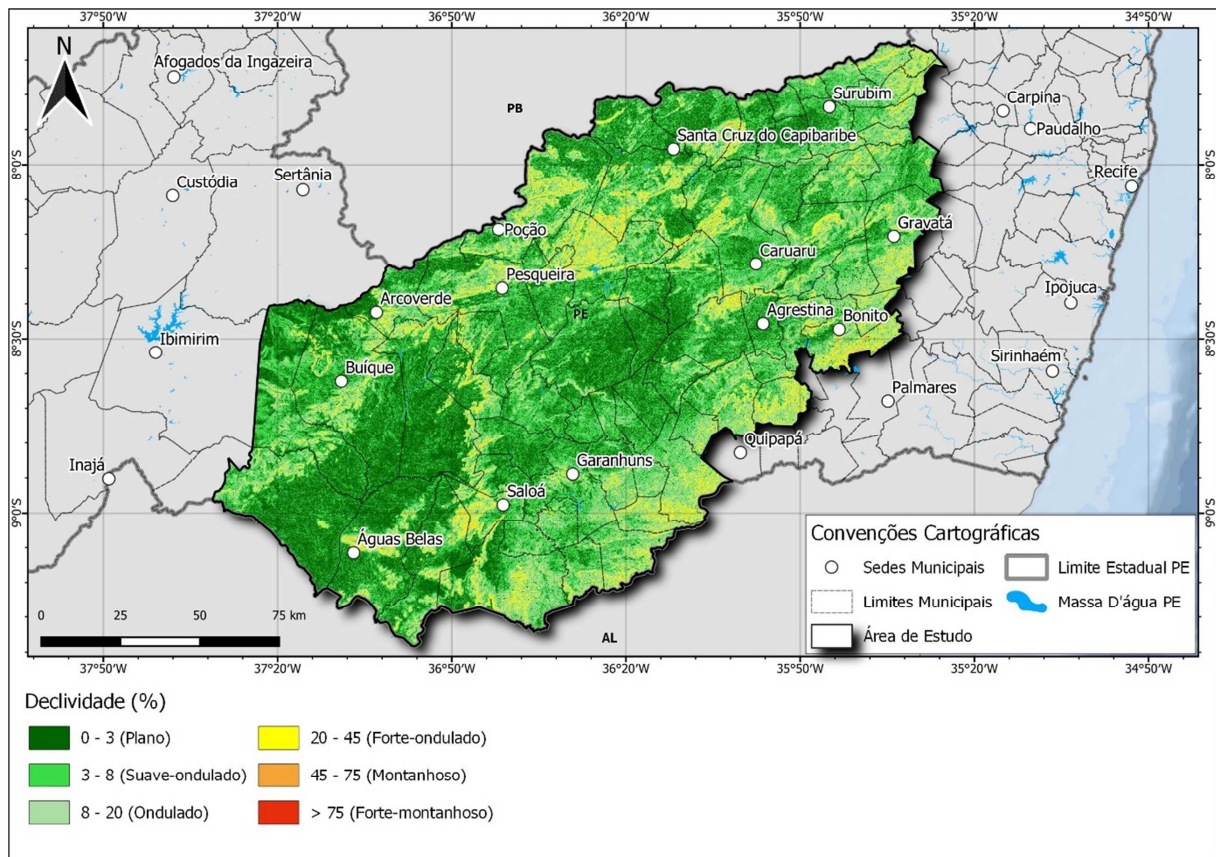
| Classes de Declividade | Área (ha) | Área (%) |
|-------------------------------|---------------------|-----------------|
| Plano | 165.184,50 | 6,78% |
| Suave-ondulado | 980.294,11 | 40,24% |
| Ondulado | 849.182,86 | 34,86% |
| Forte-ondulado | 414.693,61 | 17,02% |
| Montanhoso | 24.967,83 | 1,02% |
| Forte-montanhoso | 1.723,49 | 0,07% |
| TOTAL | 2.436.046,40 | 100,00% |

Fonte: O autor, 2023.

Na análise da Tabela 3 é possível perceber que a área é constituída de três classes predominantes e que, por sua vez, tendem a um terreno mais aplainado. As classes com maior representatividade são: Suave-ondulado com 40,24% da área, Ondulado com 34,86% e Forte-ondulado com 17,02%. As demais classes presentes são: Plano, montanhoso e Forte-montanhoso, contemplando juntas 7,88% da área total de estudos.

Na Figura 9 é possível notar a espacialização da declividade na área de estudo, confirmando-se que a área é bem aplainada, com uma declividade significativa nos divisores de águas, a montante da bacia do Rio Ipanema, ao centro-sul da área de estudo, como também, nas mesmas condições, nas cabeceiras da bacia do Rio Capibaribe, ao nordeste da área.

Figura 9 - Declividade do terreno



Fonte: O autor, 2023.

4.3.3. Hidrografia

A hidrografia da área de estudos é bem abrangente, podendo ser visualizados na Figura 10 os rios e os fluxos de drenagem. As duas principais drenagens da área são o Rio Capibaribe que drena o nordeste da área e o Rio Ipanema, que drena o centro sul da bacia. Há, ainda, outros importantes rios, destacam-se o Rio Ipojuca, Rio Una, Rio Canhoto, Rio Inhaúma, Rio Paraíba, Rio Garanhuzinho e Rio Mundaú.

Como se pode perceber pelo clima da região, boa parte dos rios são efêmeros ou intermitentes, ou seja, têm água superficial em seu leito ocorrendo somente no período das chuvas ou, em casos mais extremos, só durante as chuvas. Além desse fator, há o agravante relacionado à perda de água para a atmosfera pela evaporação, isso ocorre frente a toda complexidade do sistema climático presente na região nordestina. Há de se notar que os

Dd = Densidade de drenagem (km/km²)

Cr = Comprimento total da rede de drenagem (km)

A = Área da bacia (km²)

Beltrame (1994) divide a classificação da densidade de drenagem nas bacias hidrográficas em quatro categorias, conforme observa-se no Quadro 2.

Quadro 2 - Classificação da Densidade de Drenagem

| Classificação | Densidade de Drenagem |
|---------------|--------------------------------|
| Baixa | < 0,50 km/km ² |
| Mediana | 0,50 a 2,00 km/km ² |
| Alta | 2,01 a 3,50 km/km ² |
| Muito Alta | > 3,50 km/km ² |

Fonte: BELTRAME, 1994.

A densidade de drenagem depende diretamente do clima e das características físicas da bacia hidrográfica. O clima atua tanto diretamente (regime e vazão dos cursos) quanto indiretamente (influência sobre a vegetação).

Para fins desta dissertação, a Densidade de drenagem foi calculada para as áreas de contribuição das Unidades de Planejamento (UP) que se encontram dentro da área de estudo, sendo elas: UP01, UP03, UP05, UP06, UP07, UP08, UP09, UP10, e cujos resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Densidade de Drenagem

| Unidas de Planejamento | Comprimento Total da Rede de Drenagem - Cr (km) | Área de contribuição da UP – A (km ²) | Densidade de Drenagem (km/km ²) |
|------------------------|---|---|---|
| UP01 - Goiana | 196,77 | 460,40 | 0,43 |
| UP03 - Capibaribe | 2.585,27 | 5.787,09 | 0,45 |
| UP05 - Ipojuca | 1.176,47 | 2.792,47 | 0,42 |
| UP06 - Sirinhaém | 196,69 | 461,53 | 0,43 |
| UP07 - Una | 1.726,24 | 3.971,74 | 0,43 |
| UP08 - Mundaú | 1.743,16 | 3.518,96 | 0,50 |
| UP09 - Ipanema | 3.106,49 | 6.329,59 | 0,49 |
| UP10 - Moxotó | 424,31 | 1.038,68 | 0,41 |
| TOTAL / MÉDIA | 11.155,40 | 24.360,46 | 0,46 |

Fonte: O autor, 2023.

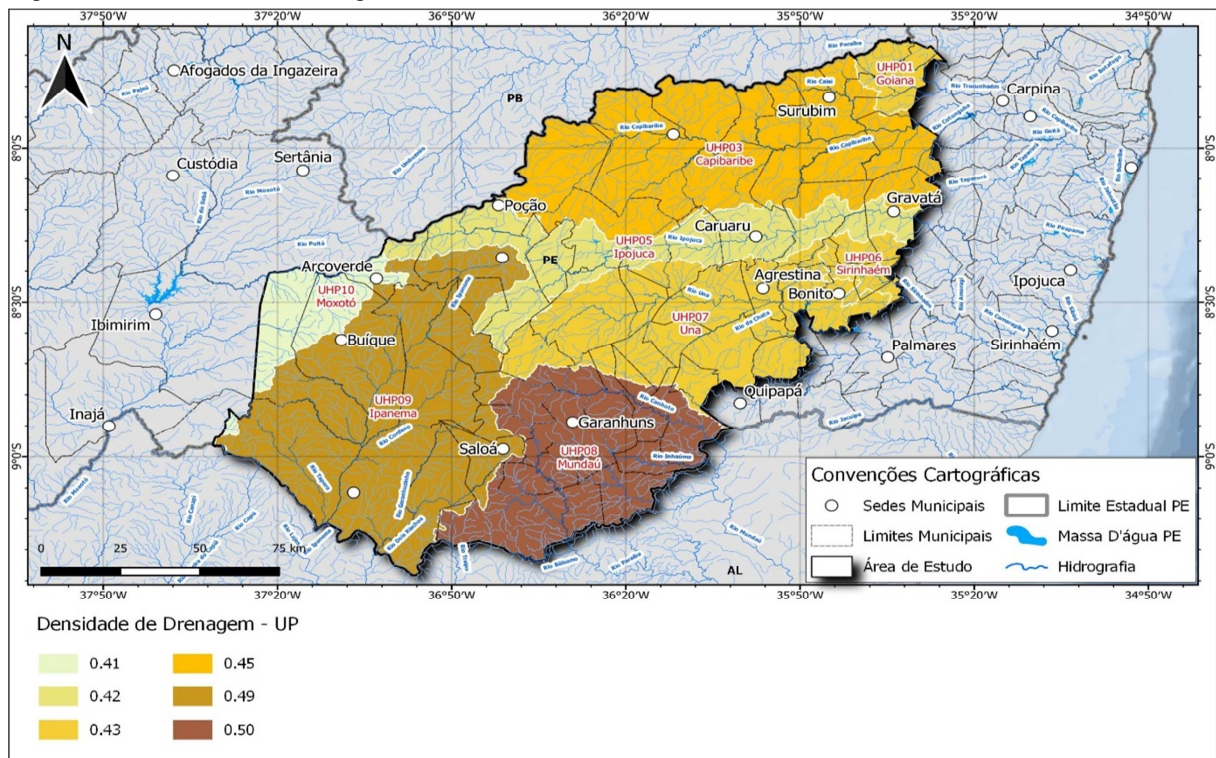
Segundo Beltrame (1994) é possível afirmar, portanto, que a quase totalidade das regiões da área de estudo, usando como parâmetro as UPs, apresentam baixa densidade de

drenagem, uma vez que apresentam o nível de Densidade de drenagem (Dd) abaixo de 0,50. Apenas a UP08 – Mundaú apresenta uma densidade de drenagem considerada mediana segundo o critério estabelecido por Beltrame, com o valor de 0,50, situado no limite inferior da faixa.

A baixa densidade de drenagem em uma bacia está geralmente associada à sua geologia, mais especificamente às regiões de rochas permeáveis e de regime pluviométrico caracterizado por chuvas de baixas intensidade. Das características físicas, a rocha e o solo desempenham papel fundamental, pois determinam a maior ou menor resistência à erosão. Em geral, uma bacia de geologia dominada por argilitos apresenta alta densidade de drenagem, já uma bacia com substrato predominante de arenitos, como os encontrados na região, apresenta baixa densidade de drenagem (MORISAWA, 1968).

Como apresentado na Tabela 4 e espacializado na Figura 11, a UP08 Mundaú é a que apresenta a maior densidade de drenagem representada por 0,50; seguido pela UP09 Ipanema, com 0,49 e UP03 Capibaribe que apresenta 0,45. Indicando o valor 0,43 tem-se as UPs 01 Goiana, 06 Sirinhaém e 07 Una; com 0,42 encontra-se a UP05 Ipojuca e, por fim, tem-se a UP10 Moxotó com a densidade de drenagem mais baixa da área de estudos, representada por 0,41.

Figura 11 – Densidade de Drenagem



Fonte: O autor, 2023.

4.3.5. Geologia

As camadas geológicas utilizadas no recorte da área de estudo derivam da atualização do PERH|PE (SEINFRA-PE, 2022). O banco de dados do projeto compreende um recorte das unidades litológicas discriminadas no Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil (CPRM, 2007), delineadas originalmente na Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo (CPRM, 2005), publicada em arquivo formato shapefile. Nesse sentido, as unidades litoestratigráficas de Pernambuco foram agrupadas em cinco classes de rocha: ígnea, ígnea-metamórfica, metamórfica, metamórfica-sedimentar e sedimentar. Na área de estudo, apresentada na Tabela 5, observam-se quatro destas classes, destacando-se, também, suas predominâncias de forma quantitativa.

Tabela 5 - Classes geológicas

| Classes Geológicas | Área (ha) | Área (%) |
|----------------------------|---------------------|-----------------|
| Sedimentar (ou Sedimentos) | 77.494,15 | 3,18% |
| Ígnea, Metamórfica | 273.599,45 | 11,23% |
| Ígnea | 587.616,08 | 24,12% |
| Metamórfica | 1.497.336,72 | 61,47% |
| TOTAL | 2.436.046,40 | 100% |

Fonte: O autor, 2023.

Como observado na Tabela 5, a área de estudo tem uma predominância de rochas Metamórficas, sendo 61,47% da área, o equivalente a 1.497.336,72 ha, as demais classes, juntas, representam 938.709,68 ha, equivalentes a 38,53% da área de estudo. Dentre as principais litologias de cada classe, destacadas nos atributos das respectivas camadas, tem-se:

- a) Ígneas: Diorito, Granito, Granodiorito, Leucogranito, Monzodiorito, Monzonito, Quartzo-álcali-feldspato Sienito, Quartzo-Diorito, Quartzo-Monzonito, Quartzo-Sienito, Sienogranito, Sienito, Tonalito.
- b) Ígneas-Metamórficas: Anfibolito, Biotita Granito, Granito Pórfiro, Granodiorito, Leucogranito, Mármore, Metagranito, Metagranitóide, Migmatito, Monzogranito, Quartzo-Diorito, Quartzo-Monzonito, Sienito, Sienogranito, Tonalito.
- c) Metamórficas: Anfibolito, Augen gnaiss, Biotita Gnaiss, Biotita Xisto, Mármore, Metadiorito, Ortognaiss Granodiorítico, Metagabro, Metagranito,

A base hidrogeológica adotada na atualização do PERH|PE compreende um recorte das unidades aquíferas discriminadas no Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil, escala 1:2.500.000, editado pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM e disponibilizado em arquivo formato shapefile. O mapa hidrogeológico foi elaborado a partir da agrupação, análise e utilização dos dados hidrogeológicos, geológicos, hidrológicos, entre outros já existentes, com finalidade apresentar uma síntese da hidrogeologia nacional. A predominância das rochas cristalinas, que possuem capacidade pequena de armazenamento e de transmissão de água subterrânea, proporciona um baixo potencial hídrico à região. Além disso, o clima semiárido predominante no estado, com baixos índices pluviométricos e elevadas taxas de evaporação, concentra os sais dissolvidos nos aquíferos e interfere na qualidade da água que, em muitos casos, é classificada como salobra.

A despeito desses problemas, a água subterrânea é uma reserva estratégica que pode e deve ser utilizada como alternativa ou em conjunto com os recursos hídricos superficiais, para atender os mais diversificados usos, incluindo o abastecimento público, principalmente de pequenos e médios núcleos urbanos.

A distribuição das classes das unidades aquíferas na área de estudo está apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 – Hidrogeologia

| Classes das Unidades Aquíferas | Área (ha) | Área (%) | Vazões (m³/h) |
|---|---------------------|-----------------|---------------------------------|
| Unidade Fraturada de Produtividade Geralmente Muito Baixa, porém localmente baixa | 2.363.188,43 | 97,01% | 1 < Q < 10 |
| Unidade Granular de Produtividade Muito Alta | 69.245,88 | 2,84% | Q > 100 |
| Unidade Granular de Produtividade Geralmente Muito Baixa, porém localmente baixa | 749,00 | 0,03% | 1 < Q < 10 |
| Unidade Granular de Produtividade Pouco Produtiva ou Não Aquífera | 2.863,10 | 0,12% | Q < 1 |
| TOTAL | 2.436.046,40 | 100% | |

Fonte: O autor, 2023.

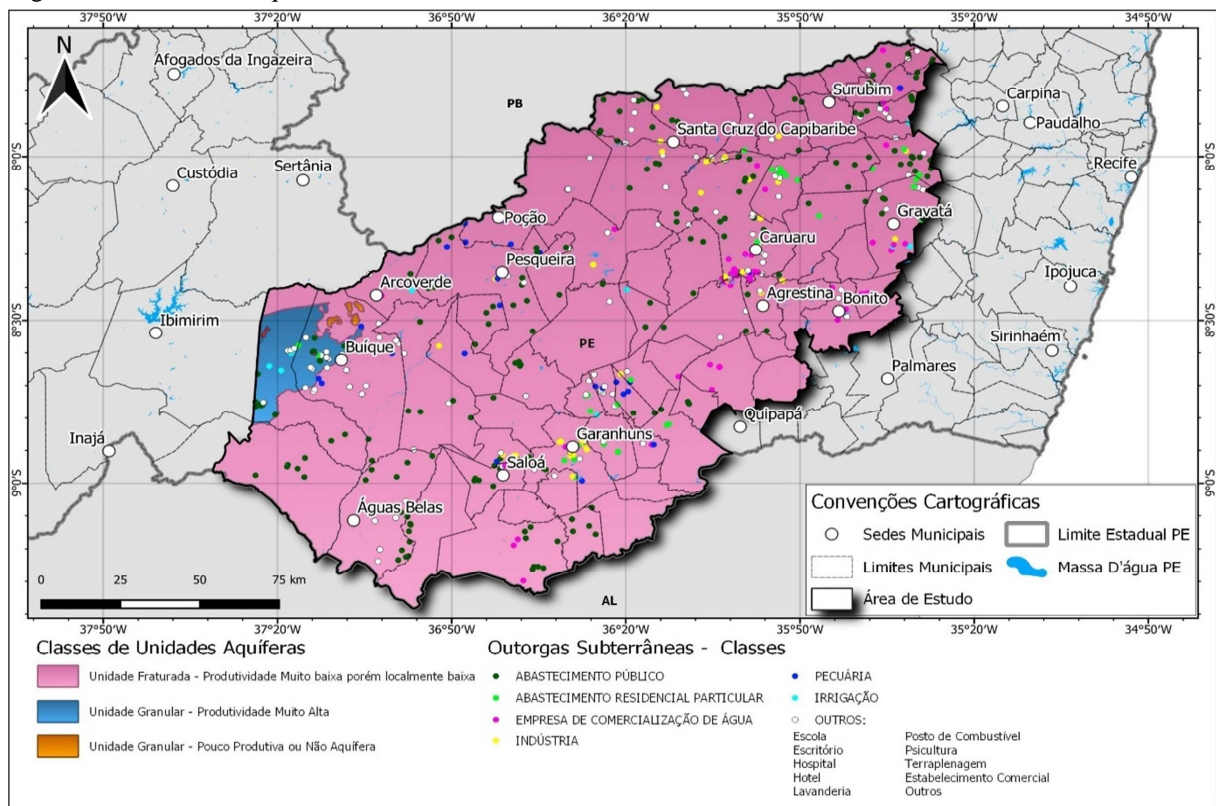
Ao analisar a Tabela 6, é possível notar que a classe Unidade Fraturada de Produtividade Geralmente Muito Baixa, porém localmente baixa, tem uma expressiva predominância na área, presente em 97,01%, equivalente a 2.363.188,43 ha. As demais classes, Unidade Granular - Produtividade Muito Alta, Unidade Granular - Produtividade Geralmente Muito Baixa, porém localmente baixa, Unidade Granular - Produtividade Pouco Produtiva ou Não Aquífera, são representadas, em conjunto, por 2,99% da área, referentes a 72.857,98 ha.

Ao analisar a Figura 13, pode-se notar a grande extensão territorial da classe de Unidade Fraturada - Produtividade Muito Baixa, porém localmente baixa, dando assim, uma ênfase ao problema de escassez hídrica presente na região, exclamando ainda mais a importância dos projetos de abastecimento d'água por transposição de grandes bacias.

Ressalte-se, no entanto, a presença na parte ocidental da região em foco, de uma Unidade Granular de Produtividade Muito Alta, sobre a qual foi perfurada uma bateria de poços profundos, na localidade de Tupanatinga, para o abastecimento antecipado de parte da 1ª Etapa do SAAP. Estes poços captam água do aquífero Tacaratu, situado na Bacia Sedimentar de Jatobá (SEINFRA-PE, 2022).

Parâmetros hidrodinâmicos do aquífero Tacaratu, apresentados por Costa et al. (2002), indicam que as condutividades hidráulicas (K) variam de $1,70 \times 10^{-7}$ a $2,50 \times 10^{-7}$ m/s, enquanto as transmissividades variam de 1,47 a 2,16 m³/d. No que concerne às condutividades elétricas, estas têm valor médio de 419 μ S/cm, variando de 104 a 1.500 μ S/cm, em 114 amostras analisadas (SRHE, 2010).

Figura 13 – Unidades Aquíferas



Fonte: O autor, 2023.

4.3.7. Geomorfologia

A Geomorfologia estuda a origem e a estrutura das formas de relevo. A formação de elementos da superfície terrestre é identificada pela natureza das rochas, pelo clima e por fatores endógenos e exógenos (INPE, 2016).

Segundo o Relatório de Impacto Ambiental do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano (MIN, 2008), a área de estudo pode ser dividida em três grandes unidades de paisagem e relevo:

Pediplano Central do Planalto de Borborema, que compreende um compartimento com altitudes que variam entre 500 m e 600 m, apresentando trechos que atingem mais de 800 m, representados por blocos serranos residuais. Limita-se ao norte com as Encostas Setentrionais (Maciços Setentrionais) por intermédio do linearmento Pernambuco; a leste com as Encostas Orientais da Borborema e a oeste com o Pediplano do Baixo São Francisco. A rede hidrográfica é representada pelos rios Ipojuca e Una, além dos afluentes do Ipanema e do Canhoto, e do riacho Seco.

Depressão Sertaneja, que ocorre em maior proporção em torno do Planalto Sertanejo, com declives em direção aos fundos de vales e litoral. Nessa área, a Depressão Sertaneja pode ser dividida em três unidades geoambientais: Pediplanos arenosos, Pediplanos avermelhados de textura média e argilosa, Pediplanos com problemas de sais e de drenagem. A morfologia apresenta-se por vezes conservada, mas em grande parte submetida a um princípio de dissecação à medida que aumenta a densidade de drenagem.

Encosta Setentrional do Planalto da Borborema, subdividida em três unidades geoambientais: Superfícies Dissecadas, Pediplanos Arenosos e Serras e Serrotes. Ela envolve desde as imediações do município de Gravatá até as proximidades da cidade de Serra Talhada. Limita-se a leste com a Depressão Pré-litorânea, a sul com o Planalto Central e com o Pediplano do Baixo São Francisco e, a oeste, com o Pediplano Sertanejo. No extremo sudoeste, emerge um relevo montanhoso com mais de 1.100 m de altitude, onde se observa a serra de Triunfo, um maciço de sienito, cujo topo está dissecado em interflúvios tabulares. Destacam-se, ainda, as serras do Ororubá, dos Fogos, das Porteiras e dos Campos. A drenagem é complexa, apresentando padrão geral similar ao subdentrítico com influências do treliço recurvado com encaves do radial, sendo representada pelos riachos formadores das bacias dos rios Ipojuca, Capibaribe, Ipanema, Moxotó e do riacho do Navio.

As camadas geomorfológicas utilizadas no recorte da área de estudo derivam da atualização do PERH|PE (SEINFRA-PE, 2022). Nesse sentido, observam-se na área de estudo oito classes de formas de relevo: Chapadas de Tonã e Serra Talhada, Corpo d'água, Depressão Sertaneja Meridional, Encostas Orientais do Planalto da Borborema, Pediplano Central do Planalto da Borborema, Pediplano do Baixo São Francisco, Piemonte Oriental do Planalto da Borborema, Planícies e Terraços Fluviais. Na Tabela 7 apresentam-se as ocupações quantitativas e percentuais das classes geomorfológicas presentes na área em foco.

Tabela 7 - Classificação geomorfológica

| Classificação Geomorfológica | Área (ha) | Área (%) |
|---|---------------------|-----------------|
| Pediplano do Baixo São Francisco | 497.475,42 | 20,42% |
| Encostas Orientais do Planalto da Borborema | 571.285,03 | 23,45% |
| Piemonte Oriental do Planalto da Borborema | 25.303,48 | 1,04% |
| Planícies e Terraços Fluviais | 39,80 | 0,00% |
| Chapadas de Tonã e Serra Talhada | 88.692,74 | 3,64% |
| Pediplano Central do Planalto da Borborema | 1.224.954,32 | 50,28% |
| Depressão Sertaneja Meridional | 24.137,75 | 0,99% |
| Corpo d'água | 4.157,85 | 0,17% |
| TOTAL | 2.436.046,40 | 100% |

Fonte: O autor, 2023.

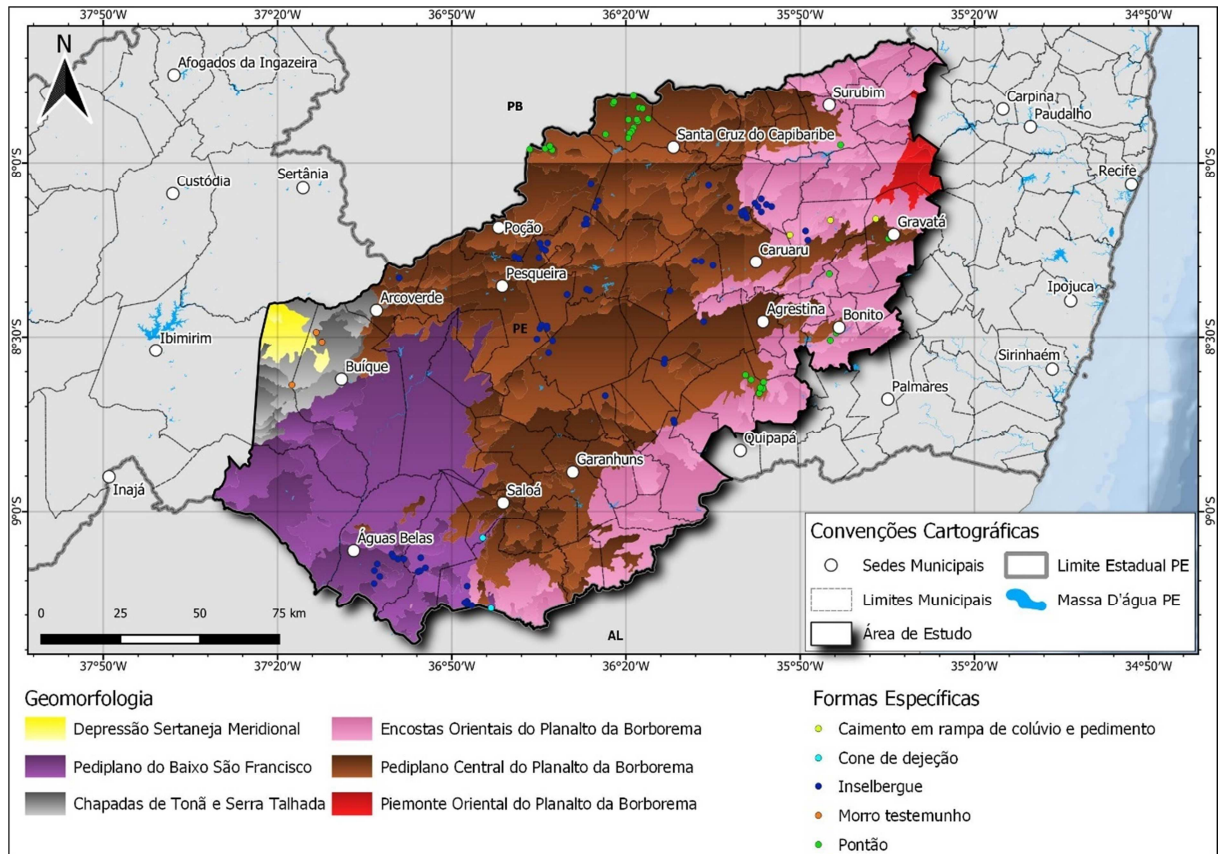
De acordo a Tabela 7, nota-se a predominância de três classes na região, quais sejam: Pediplano Central do Planalto da Borborema, com 1.224.954,32 ha, equivalente a 50,28%; Encostas Orientais do Planalto da Borborema, representada por 571.285,03 ha ou 23,45% e a classe Pediplano do Baixo São Francisco, com 497.475,42 ha equivalentes a 20,42%. As demais classes têm uma representação bem menor, atingindo, juntas, o equivalente a 142.331,63 ha, o mesmo que 5,84% da área total de estudo.

A partir da Figura 14 é possível observar a espacialização das classes na área de estudo, notando-se que o Pediplano Central do Planalto da Borborema localiza-se nas porções de maior altitude da área, e as classes Encostas Orientais do Planalto da Borborema e a Pediplano do Baixo São Francisco estão predominantemente nas áreas de baixas altitudes e, conseqüentemente, nas áreas de depósitos sedimentares carreados, principalmente, pelas águas. As classes de Chapadas de Tonã e Serra Talhada e a Depressão Sertaneja Meridional estão espacializadas na porção oeste da área de estudo e, por último, tem-se a classe Piemonte Oriental do Planalto da Borborema, que está localizada na porção mais a leste da área.

Além disso, há formas específicas de relevo também encontradas na região, sendo os Caimentos em rampa de colúvio e pedimento na porção mais a leste; os Cone de dejeção ao

sul; os *Inselbergs* encontrados no sul e no centro da área; os Morro testemunho estão a oeste e, por último, tem-se o Pontão, com sua maior presença no norte da área de estudo, mas, também aparecendo a leste, de forma mais sutil.

Figura 14 - Geomorfologia



Fonte: O autor, 2023.

4.3.8. Solos

A obtenção dos parâmetros dos solos em grandes áreas exige muitas vezes uma ampla campanha de investigação, com a realização de sondagens, ensaios de campo e de laboratório, cuja demanda de informações a ser obtida depende, por exemplo, da complexidade pedológica e geológica da área e da confiabilidade que se deseja (Silva et al., 2020). No caso do SAAP, alguns tipos de solos podem trazer maiores dificuldades à implantação das obras das adutoras, o que é tratado em maior detalhe no item 4.3.8.1.

Dentre os principais tipos pedológicos da região, destacados pelo PERH/PE (SEINFRA-PE, 2022), tem-se as seguintes classes presentes na área de estudo:

- a) Cambissolos: Apresentam grandes variações na profundidade, ocorrendo desde rasos a profundos, podendo apresentar também qualquer tipo de horizonte A sobre um horizonte B incipiente, em diversas cores. Comumente são pedregosos, cascalhentos e rochosos. Os cambissolos háplicos se referem aos que não se enquadram nem como húmicos (horizonte A húmico), nem como flúvicos (sedimentos aluviais).
- b) Gleissolos: Característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamentos, podendo apresentar cores azuladas, esverdeadas ou acinzentadas de até 50 cm. Podem ter fertilidade natural alta ou baixa, e ocupam, principalmente, as planícies de inundação de rios e dos córregos.
- c) Latossolos: São solos profundos, muito intemperizados e de boa drenagem, possuindo grande homogeneidade de características ao longo do perfil, com textura argilosa predominantemente caulínica. Diferenciam-se entre si principalmente pela coloração e teores de óxidos de ferro. Os latossolos amarelos e os vermelho-amarelos são muito homogêneos, de boa drenagem e baixa fertilidade natural.
- d) Argissolos: São solos cuja característica marcante é o aumento de argila do horizonte superficial A para o subsuperficial B, sendo que as cores do B variam de acinzentadas a avermelhadas e as do horizonte A são sempre mais escuras. Pela sua cor, são classificados em amarelo, vermelho ou vermelho-amarelo. Pode ter profundidade variável, mas são, em geral, pouco profundos.
- e) Neossolos: São constituídos por material mineral ou material orgânico de até 30 cm de espessura, não apresentando horizonte B diagnóstico. Apresentam predomínio de características herdadas do material originário, sendo considerados solos pouco evoluídos. Podem ser litólicos – rasos, quartzarênicos – profundos e arenosos, regolíticos – com presença considerável de minerais primários de fácil intemperização, ou flúvicos – de natureza aluvionar.
- f) Planossolos: São solos com um horizonte superficial ou subsuperficial eluvial, de textura mais leve que o imediatamente subjacente horizonte B, que é adensado e argiloso, com permeabilidade lenta ou muito lenta. Devido à sua baixa permeabilidade, este horizonte B pode ser responsável pela existência

periódica de um lençol freático suspenso. São solos imperfeitamente ou, às vezes, mal drenados, de fertilidade variável.

g) Luvisolos: Possuem profundidades medianas, com horizonte B textural ou nítico abaixo de horizonte A fraco, moderado ou horizonte E, cujas cores podem variar de vermelhas a acinzentadas. É comum que haja diferenciação entre os horizontes superficiais e subsuperficiais, podendo ocorrer fendilhamento em períodos secos devido à mineralogia das argilas. O caráter “crômico” refere-se à predominância de cores vivas em amostra úmida, refletindo condições climáticas mais quentes e secas.

h) Vertissolos : Este tipo de solo possui horizonte vértico com cores variáveis, podem ser profundos ou pouco profundos, apresentar fendas no perfil devido à expansão e contração do material argiloso, superfícies de fricção e estrutura do tipo prismática. Apresentam elevado potencial nutricional para plantas, uma vez que possuem alta capacidade de troca de cátions associada à presença de grandes quantidades de minerais facilmente intemperizáveis, e podem ocorrer em áreas planas, suavemente onduladas, depressões e locais de antigas lagoas.

Na Tabela 8, é possível analisar os dados quantitativos de cada classe para a área de estudo.

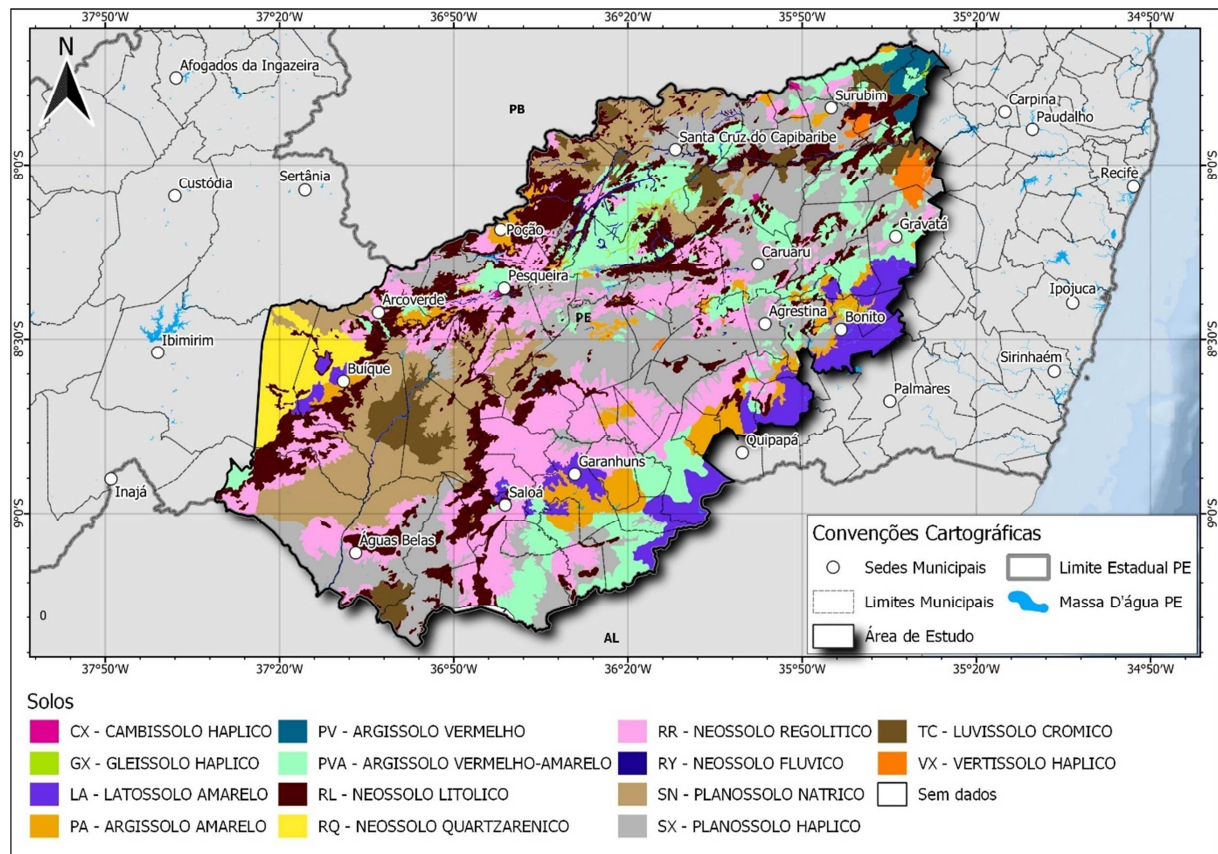
Tabela 8 – Classes de Solo

| Nome das Unidades | Área (ha) | Área (%) |
|----------------------------------|---------------------|-------------|
| CX - CAMBISSOLO HAPLICO | 1.863,24 | 0,08% |
| GX - GLEISSOLO HAPLICO | 6.328,95 | 0,26% |
| LA - LATOSSOLO AMARELO | 138.919,77 | 5,70% |
| PA - ARGISSOLO AMARELO | 120.362,41 | 4,94% |
| PV - ARGISSOLO VERMELHO | 20.557,69 | 0,84% |
| PVA - ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO | 311.748,39 | 12,80% |
| VX - VERTISSOLO HAPLICO | 19.036,42 | 0,78% |
| RL - NEOSSOLO LITOLICO | 373.614,79 | 15,34% |
| RQ - NEOSSOLO QUARTZARENICO | 66.067,85 | 2,71% |
| RR - NEOSSOLO REGOLITICO | 414.847,34 | 17,03% |
| RY - NEOSSOLO FLUVICO | 19.295,38 | 0,79% |
| TC - LUVISSOLO CROMICO | 101.013,52 | 4,15% |
| SN - PLANOSSOLO NATRICO | 289.601,41 | 11,89% |
| SX - PLANOSSOLO HAPLICO | 548.771,12 | 22,53% |
| RIO | 805,97 | 0,03% |
| Sem dados | 3.212,16 | 0,13% |
| TOTAL | 2.436.046,40 | 100% |

Fonte: O autor, 2023.

Ao analisar a Tabela 8, destacam-se os principais domínios pedológicos da região e, respectivamente, sua ocupação na área de estudo: LA - latossolo amarelo, que detém 138.919,77 ha, equivalentes a 5,70%; PVA - argissolo vermelho-amarelo, que contempla 311.748,39 ha ou 12,80% da área; RL - neossolo litólico possui 373.614,79 ha ou 15,34%; RR - neossolo regolítico com 414.847,34 ha e 17,03%; SN - planossolo natríco, que se estende por 289.601,41 ha ou 11,89%, SX - planossolo haplítico com 548.771,12 ha, o mesmo que 22,53% da área de estudo. As demais classes são bem menos presentes e representam, juntas, 358.543,58 ha, o mesmo que 14,72% da área de estudos. Como forma de exprimir a distribuição dos dados pedológicos na região de estudo, apresenta-se a Figura 15, que demonstra a vasta quantidade das classes de solos presentes.

Figura 15 - Solos



Fonte: O autor, 2023.

4.3.8.1. Correlação Pedologia-Geotecnia

Mapeamentos de solos, realizados dentro do contexto pedológico, proporcionam informações relevantes de caráter geológico-geotécnico. No entanto, possivelmente em vista do grau de especialização e por não envolverem informações que propiciem uma adequada inferência de condições prováveis do subsolo, tais informações podem não ser plenamente compreendidas ou devidamente utilizadas na elaboração de estudos preliminares de ordem geológico-geotécnica demandados em projetos de engenharia e em avaliações geo-ambientais (Antunes, F. S. et al., 2013).

De acordo com Silva (2020), cada unidade dos mapas pedológicos caracteriza um ambiente e possui associações intrínsecas com a geologia, geomorfologia, hidrologia e o clima da região. Na caracterização de uma unidade pedológica são considerados dados sobre propriedades mineralógicas, morfológicas, físicas, químicas e biológicas. Tais elementos, quando interpretados de forma integrada, possibilitam a indicação de limitações e potencialidades do meio físico voltados à aplicação na área geotécnica

Neste sentido, Antunes et al. (2013) propuseram unidades geo-pedológicas de classificação de solos e discutiram como se pode potencialmente utilizá-las para diferentes fins, a partir da interpretação das unidades pedológicas com enfoque geotécnico e do uso combinado de mapas pedológicos pré-existentes e de cartas plano-altimétricas, de forma a cobrir uma lacuna constatada na interação entre diferentes áreas do conhecimento.

Dentre as informações constantes nos levantamentos pedológicos, passíveis de serem correlacionadas diretamente, estão dados gerais sobre o meio físico da região de interesse (e.g. relevo, clima, geologia e vegetação) além de dados mais específicos sobre as condições ambientais (e.g. distribuição de áreas inundáveis, solos saturados e não saturados, características mineralógicas, químicas e físicas dos solos) e, sob o ponto de vista mais aplicado, a ocorrência de solos expansivos, compressíveis, agressivos e com maior suscetibilidade à erosão.

O Quadro 3 apresenta uma síntese da correlação Geo-pedológica para as classes de solos presentes na região do SAAP.

Quadro 3 – Síntese da correlação Geo-pedológica para as classes de solos na área do estudo

| Classes de Solos | Significados Geotécnicos |
|--|---|
| Argissolos (antigo podzólico): Desenvolvidos de rochas cristalinas. Horizonte diagnóstico B textural (Bt), com estrutura em blocos. | Perfil de solo residual não saturado. Raros casos de material de origem alóctone. Diferença textural entre os horizontes A e B. Suscetível à erosão superficial. |
| Cambissolos: Desenvolvidos de rochas cristalinas (fragmentos de rochas na matriz argilosa com relação silte/argila > 0,7) ou de depósitos de encostas (relevo acidentado) e de sedimentos aluviais (relevo plano). Horizonte diagnóstico B incipiente (Bi). Ricos em minerais primários facilmente intemperizáveis quando residuais. | Pode indicar a presença de colúvio ou tálus quando ocupam relevos acidentados. Neste caso é indicativo de áreas potenciais de movimentos de massas. |
| Gleissolos: Horizonte diagnóstico Glei de coloração cinzenta, esverdeada ou azulada, em função da redução de ferro ou manganês. Ocupam áreas de relevo plano, desenvolvidos de sedimentos recentes. Os sálicos e tiomórficos são desenvolvidos de sedimentos marinhos ou fluviomarinhos. Indicativo de hidromorfismo. | Solo transportado, saturado, sujeito a inundações em períodos de precipitação intensa. Quando desenvolvidos de sedimentos argilosos ou silto-argilosos de origem marinha ou fluviomarinhas são susceptíveis a grandes deformações. Quando possuem sais solúveis e materiais sulfídricos podem ser potencialmente corrosíveis. |
| Latossolos: Horizonte diagnóstico B latossólico (Bw), profundo, com mais de 2 metros de espessura. Argilas floculadas (100%). Textura muito argilosa ou argilosa ou média, dependendo do material de origem (basaltos, gnaisses, rochas alcalinas, sedimentos e arenitos). Presença de oxi-hidróxidos de ferro e alumínio. Relação silte / argila < 0,7. | Solo não saturado. O horizonte B pode ser residual, transportado ou coluvial. Baixa saturação por bases e atividade da argila baixa. Fração argila caulínica ou oxídica ou mistura de ambos. Solos de boa drenabilidade. Indicativos de jazidas de argila. |
| Luvissolos (antigo Bruno não cálcico e alguns Podzólicos de alta atividade): Horizonte diagnóstico B textural (Bt). Saturação por bases > 50%. Argila de atividade alta. Argilominerais tipo 1:1 e 2:1. Ocorre em clima semi-árido. | Solo residual não saturado. Diferença textural entre A e B. Suscetível à erosão superficial. Presença de argilominerais 2:1 nas frações finas. Indicação de perfil de intemperismo. |
| Neossolos: Solos pouco evoluídos. Sequência de horizontes A-R, A-C ou A-Cr. Ocupam várias fases de relevo. Os formados em relevos montanhosos ou forte ondulados são os Neossolos Litólicos e os Neossolos Regolíticos. Ambos apresentam caráter lítico. Os formados em relevos planos, desenvolvidos de sedimentos fluviais, areno-argilosos e argilosos, são denominados de Neossolos Flúvicos. Os formados em relevos planos, desenvolvidos de sedimentos arenosos, são designados Neossolos Quartzarênicos. | Podem ser indicativos de solos residuais, afloramentos de rocha quando desenvolvidos de rochas cristalinas e ocupam relevo movimentado. Podem ser indicativos de solos transportados, quando desenvolvidos de sedimentos em relevos planos. |
| Planossolos: Horizonte diagnóstico B plânico (similar ao B textural). Relevo plano e pode apresentar hidromorfismo. Desenvolvidos de sedimentos areno-argilosos e argilosos. | Solo transportado. Diferença textural entre o horizonte superficial e sub-superficial pode torná-los suscetíveis à erosão. Pode apresentar hidromorfismo. Partes mais elevadas adequadas para ocupação urbana. Restrições somente nos vales, porque o lençol freático pode atingir a superfície, ocorrendo inundações. |
| Vertissolos: Horizonte diagnóstico vértico. Teor de argila \geq 30%. Sem variação textural. Com fendilhamentos. Argilominerais expansivos. Sequência de horizontes A-Cv. Ocorrem em relevo plano, desenvolvidos de materiais de origem ricos em Ca e Mg. | Solo expansivo. Origem sedimentar ou residual. Materiais de origem ricos em Ca e Mg. Indicativo de ocorrência de argilomineral expansivo. Potencialmente sujeitos a deformações acentuadas em presença de variações de umidade. |

Fonte: ANTUNES. et al, 2013. Adaptada pelo autor, 2023.

No que concerne às obras lineares, como as do SAAP, estão presentes aspectos associados aos horizontes superficiais do solo, ou seja, onde indicadores de ordem geo-pedológica constituem elementos com elevado potencial de aplicação.

O SAAP, bem como outras obras lineares de engenharia, apresenta várias características que devem ser observadas quando do planejamento do seu traçado. Por exemplo, na medida do possível, há que se procurar evitar áreas de ocorrência de solos moles ou argilas orgânicas, ou minimizar a extensão de sua ocorrência.

Por outro lado, características únicas associadas a obras como as do SAAP compreendem a necessidade de se procurar ter, ao longo de seu traçado, materiais terrosos com propriedades adequadas para uso nos diferentes elementos que compreendem sua implantação.

Dessa forma, exemplos de indicadores geo-pedológicos apropriados a tais tipos de avaliação são apresentados no Quadro 4.

Quadro 4 – Indicadores Geo-pedológicos relevantes em obras lineares na área do estudo

| Classe de Solos | Classes Geo-pedológicas | Indicadores |
|---|-------------------------|--|
| Características Potencialmente Inadequadas ou Indesejáveis | | |
| Neossolo Litólico ou Regolítico, Latossolo, Argissolo | GRLR, GL e GP | Susceptibilidade a movimentos de massa em taludes de cortes |
| Cambissolo com relevo ondulado e/ou relevo forte ondulado, montanhoso e escarpado | GC2 e GC3 | Potencial elevado de ocorrência de movimentos de massa |
| Cambissolo | GC | Elevada compressibilidade e baixa resistência. Potencial de corrosão |
| Vertissolo | GV | Elevado potencial de expansibilidade e colapsibilidade |
| Luvissolo | GT | Potencial ocorrência de material expansivo |
| Planossolo | GS | Degradação ambiental oriunda de exploração de areia |
| Características Potencialmente Adequadas | | |
| Neossolo Flúvico | GRU | Exploração racional de areia |
| Latossolo | GL | Exploração racional de argila (horizonte B ou solo maduro) |
| Latossolo e Argissolo | GL e GP | Exploração racional de saibro (horizonte C ou solo saprolítico) |
| Neossolo | GR | Exploração racional de agregados |

Fonte: ANTUNES. et al, 2013. Adaptada pelo autor, 2023.

4.4. Meio biótico

O meio biótico é caracterizado no presente estudo através dos diferentes biomas encontrados na região de interesse, bem como pela avaliação do uso e ocupação dos solos nela predominantes.

4.4.1. Bioma

Na região apresentam-se dois biomas: a Mata Atlântica e a Caatinga, dando-se ênfase à segunda, por apresentar uma maior abrangência sobre a área em estudo.

Segundo destacado no PERH|PE (SEINFRA-PE, 2022), o Bioma Mata Atlântica constitui um grande conjunto florestal, composto por formações florestais ombrófilas e decíduais e ecossistemas associados (ex. brejos interioranos, vegetações de restingas e manguezais). Compreende assim uma complexidade ambiental que é representada pelas cadeias de montanhas, vales, platôs e planícies, em toda a faixa continental atlântica brasileira.

O Bioma Caatinga é um conjunto paisagístico do sertão nordestino, inserido no contexto do clima semiárido, sendo predominante no nordeste do Brasil. O clima semiárido se caracteriza por um ter precipitações média anuais em torno de 800mm. Durante o ano, o período chuvoso é muito curto— entre três a cinco meses de duração, nos primeiros meses do ano; a temperatura média anual varia entre 25°C a 30°C (Sena, 2011). Isto se deve à conjugação de fatores climáticos, como a presença de massas de ar equatoriais continentais nas depressões interplanálticas nordestinas, e a influência de centros de alta pressão que invadem os sertões nordestino.

Como consequência destes fatores, a massa de ar tropical atlântica (atuante de leste para oeste) alcança apenas a parte costeira (IBGE, 2019). Assim, os contrastes fisionômicos da vegetação são muito acentuados entre as estações das chuvas e a seca. Dentre as adaptações das espécies ao clima semiárido cita-se a decidualidade, presença de espinhos ou acúleos, microfilia, folhas e caules suculentos (Andrade-Lima, 2007). A formação vegetal que se destaca nesse bioma é a Savana Estépica, marcada por características xeromórficas e forte

presença das famílias Cactaceae e Bromeliaceae na composição vegetal da paisagem (IBGE, 2019).

Segundo as delimitações estabelecidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, aproximadamente 20% do território pernambucano corresponde ao Bioma Mata Atlântica e ecossistemas associados (leste do Estado) e 80% ao Bioma Caatinga. Para a área de estudos, foram feitas as estatísticas desse quantitativo, apresentadas na Tabela 9.

Resultante da integração de múltiplos fatores, como salinidade marinha, pluviosidade, altitude e os tipos de solo da área (Andrade-Lima, 2007), são definidas diferentes fitofisionomias, ou regiões fitoecológicas; considerando-se que estes fatores variam predominantemente em sentido leste-oeste, ou seja, do litoral ao continente, observando-se que a distribuição das fitofisionomias tende a acompanhar esta direção como destaca a Figura 16.

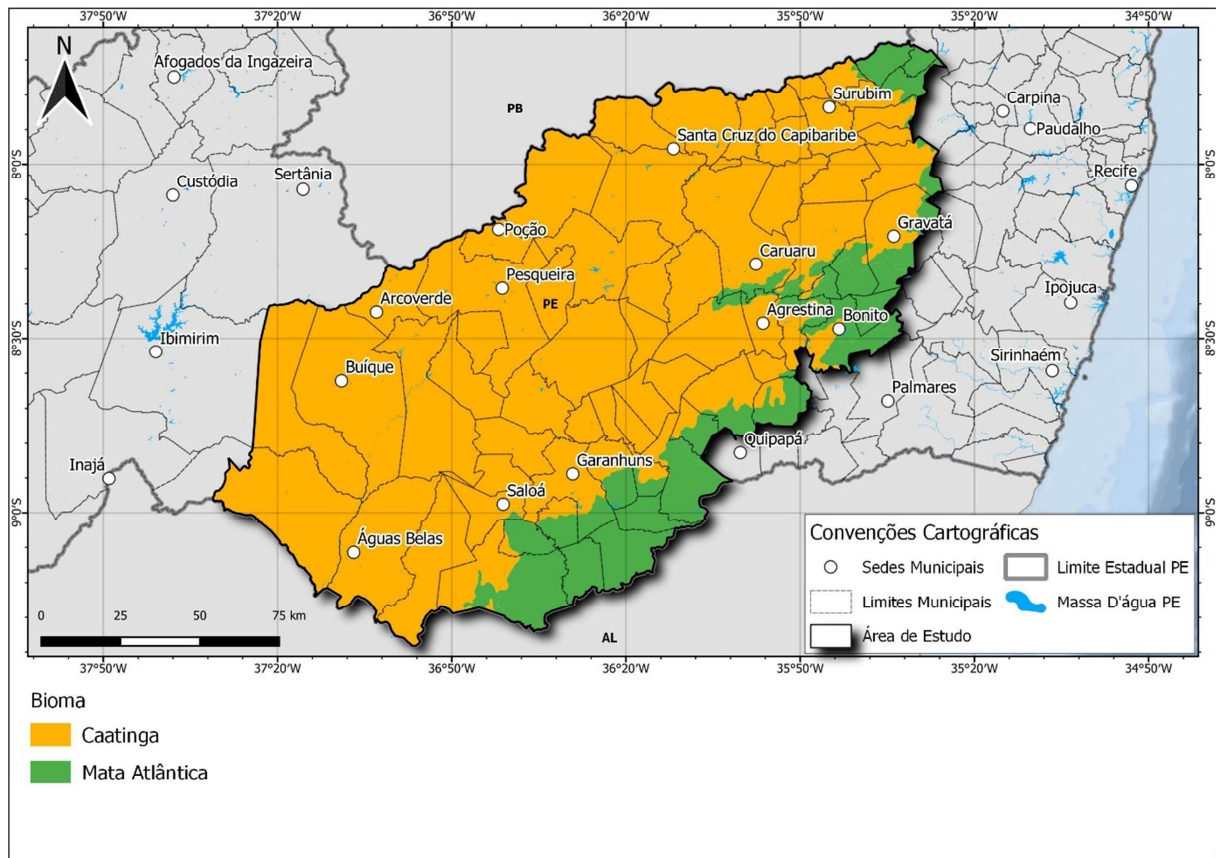
Tabela 9 – Biomas

| Biomas | Área (ha) | Área (%) |
|----------------|------------------|-----------------|
| Caatinga | 2.049.761,26 | 84,14% |
| Mata Atlântica | 386.285,14 | 15,86% |
| Total | 2.436.046,40 | 100% |

Fonte: O autor, 2023.

Ao analisar a Tabela 9, nota-se a predominância do bioma Caatinga na região, este bioma detém 2.049.761,26 ha, o mesmo que 84,14% da área de estudo, o que realça as características da presença do semiárido. A Mata Atlântica tem um quantitativo bem menor da área, 386.285,14 ha, ou seja, apenas 15,86% da área total. Um ponto interessante de se analisar é a espacialização desses biomas, que varia longitudinalmente na área de estudo, tendo a Caatinga vindo do Oeste à Leste e a Mata Atlântica presente no Sudeste e no extremo Leste, já de encontro às áreas litorâneas. Nesse sentido, é possível fazer uma interpretação da variação climática proporcionada pelo efeito da Maritimidade e de outros fatores relacionados ao clima, como o relevo na macrorregião nordeste.

Figura 16 - Biomas



Fonte: O autor, 2023.

4.4.2. Vegetação e uso e ocupação do solo

Para o mapeamento da cobertura vegetal e do uso e ocupação do solo da área de estudos, adotou-se a base disponibilizada pelo Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo no Brasil (MapBiomas), referente ao ano de 2020.

Nesse sentido, foram destacadas treze classes de uso e cobertura na área de estudo, sendo elas: Formação Florestal, Formação Savânica, Campo Alagado e Área Pantanosa, Formação Campestre, Pastagem, Cana, Mosaico de Agricultura e Pastagem, Área Urbana, Outras Áreas não Vegetadas, Afloramento Rochoso, Mineração, Rio, Lago e Oceano, Outras Lavouras Temporárias. Estas classes foram quantificadas e apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10 - Usos e cobertura do solo

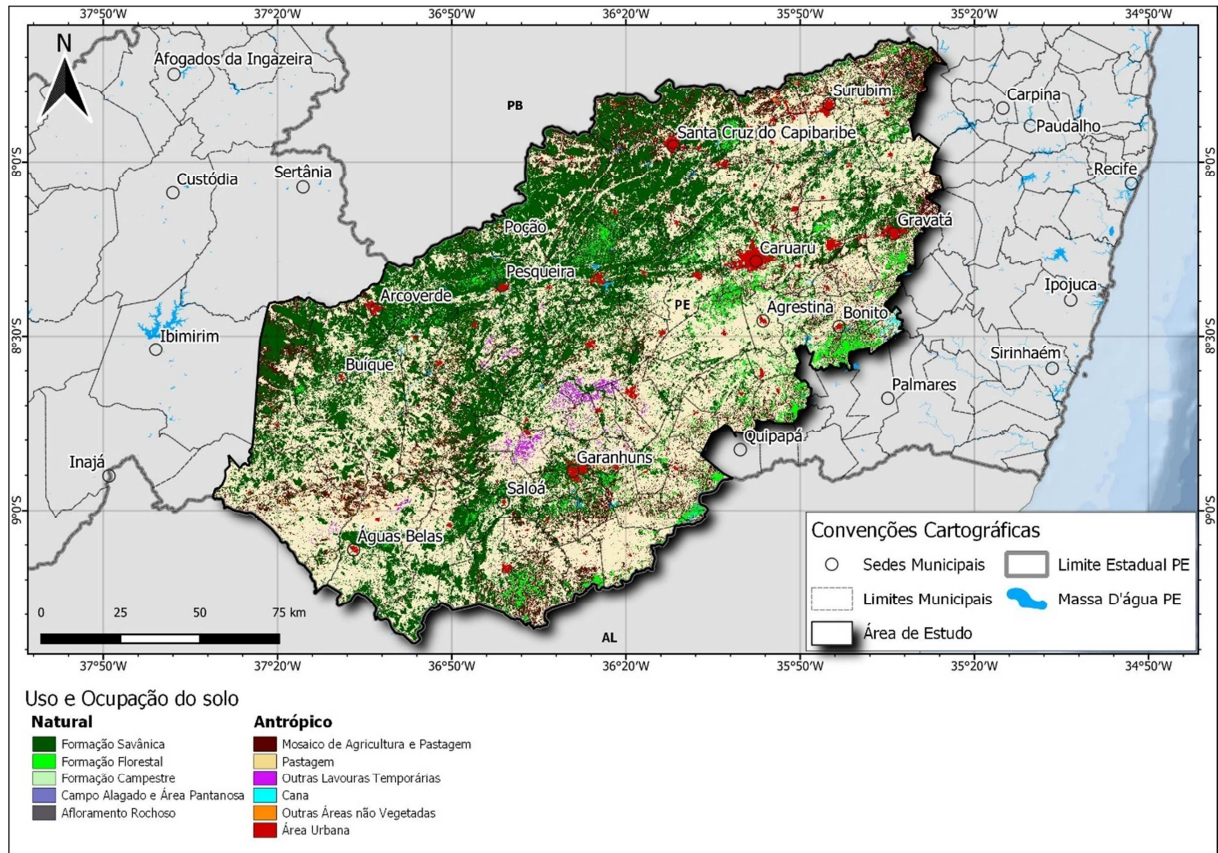
| Classe do Uso e Cobertura do Solo | Área (ha) | Área (%) |
|--|---------------------|-----------------|
| Formação Florestal | 89.828,23 | 3,69% |
| Formação Savânica | 818.131,10 | 33,58% |
| Campo Alagado e Área Pantanosa | 6,70 | 0,00% |
| Formação Campestre | 7.901,49 | 0,32% |
| Pastagem | 1.225.089,89 | 50,29% |
| Cana | 5.019,08 | 0,21% |
| Mosaico de Agricultura e Pastagem | 220.846,81 | 9,07% |
| Área Urbana | 39.310,42 | 1,61% |
| Outras Áreas não Vegetadas | 12.907,71 | 0,53% |
| Afloramento Rochoso | 191,60 | 0,01% |
| Mineração | 52,15 | 0,00% |
| Rio, Lagos e Oceano | 4.686,19 | 0,19% |
| Outras Lavouras Temporárias | 12.075,04 | 0,50% |
| Total | 2.436.046,40 | 100% |

Fonte: O autor, 2023.

Como pode-se perceber na Tabela 10, duas classes são predominantes na área de estudo: uma antrópica, representada pela classe Pastagem, e a outra natural, representada pela classe Formação Savânica, as quais têm, respectivamente, 1.225.089,89 ha, referentes a 50,29% e 818.131,10 ha, referente a 33,58%. As demais classes, representam, juntas, apenas 392.825,42 ha, ou seja, 16,13% da área de estudos.

Como pode-se notar na espacialização dos dados na Figura 17, a cobertura do solo é bem abrangente e diversificada, e o que se destaca é a cobertura da pastagem em toda a área, principalmente ao sul e ao leste, mais precisamente nas bacias hidrográficas do Rio Ipanema e do Rio Capibaribe, destacadas por serem áreas mais baixas, e a Sudeste, já dentro do bioma da Mata Atlântica. Além disso, é possível notar a formação savânica nas áreas mais centrais e ao oeste da área da área de estudo. Fazendo uma analogia com a Figura 8, hipsometria, e a Figura 9, declividade, nota-se que as áreas com maior presença desta classe natural são, justamente, as de difícil ocupação antrópica e as áreas com grandes altitudes, onde se apresentam baixos níveis pluviométricos, como demonstrado nas isoietas de precipitação da Figura 6. As demais classes, são bem espalhadas na área de estudo, notando-se lavouras temporárias no centro-sul da área, manchas urbanas bem distribuídas pela região e destacando-se um ponto de mineração nas proximidades da cidade de Santa Cruz do Capibaribe.

Figura 17 - Usos e ocupação do solo



Fonte: O autor, 2023.

4.5. Meio socioeconômico

Neste capítulo se realiza a análise dos aspectos socioeconômicos da região do estudo, abrangendo quatro áreas relevantes, quais sejam: as relativas à populacional e demografia, à educação e saúde, às atividades econômicas e ao saneamento ambiental.

Os valores dos parâmetros analisados relativos às características de cada município são apresentados em detalhe no Anexo 1 – Tabelas Auxiliares.

4.5.1. População, demografia e desenvolvimento humano

Define-se a população como a quantidade de pessoas habitando uma determinada região, sendo sua distribuição, ciclos de crescimento e indicadores de desenvolvimento alguns

dos fatores que permitem a compreensão do funcionamento dos diversos aspectos do espaço social.

A área do conhecimento que se preocupa em estudar o comportamento, as transformações e a dinâmica geral da população é a demografia, que se utiliza, principalmente, de elementos estatísticos e pesquisas qualitativas.

No que concerne ao desenvolvimento humano, foram considerados no presente estudo três índices: o Índice Firjan de Desenvolvimento Humano Municipal, o Índice de Pobreza e o Índice de Gini de Concentração de Renda.

Tais temas são tratados nos subcapítulos seguintes.

4.5.1.1. População e situação de domicílio

Verifica-se, a partir do exposto na Figura 18, Tabela e Tabela , a distribuição populacional na área de estudo. A partir da projeção populacional para 2035 e 2050 apresentada no Atlas Águas (ANA, 2021), o meio urbano se destaca, aumentando a taxa de população urbanizada de 75% em 2020, para 81% em 2050.

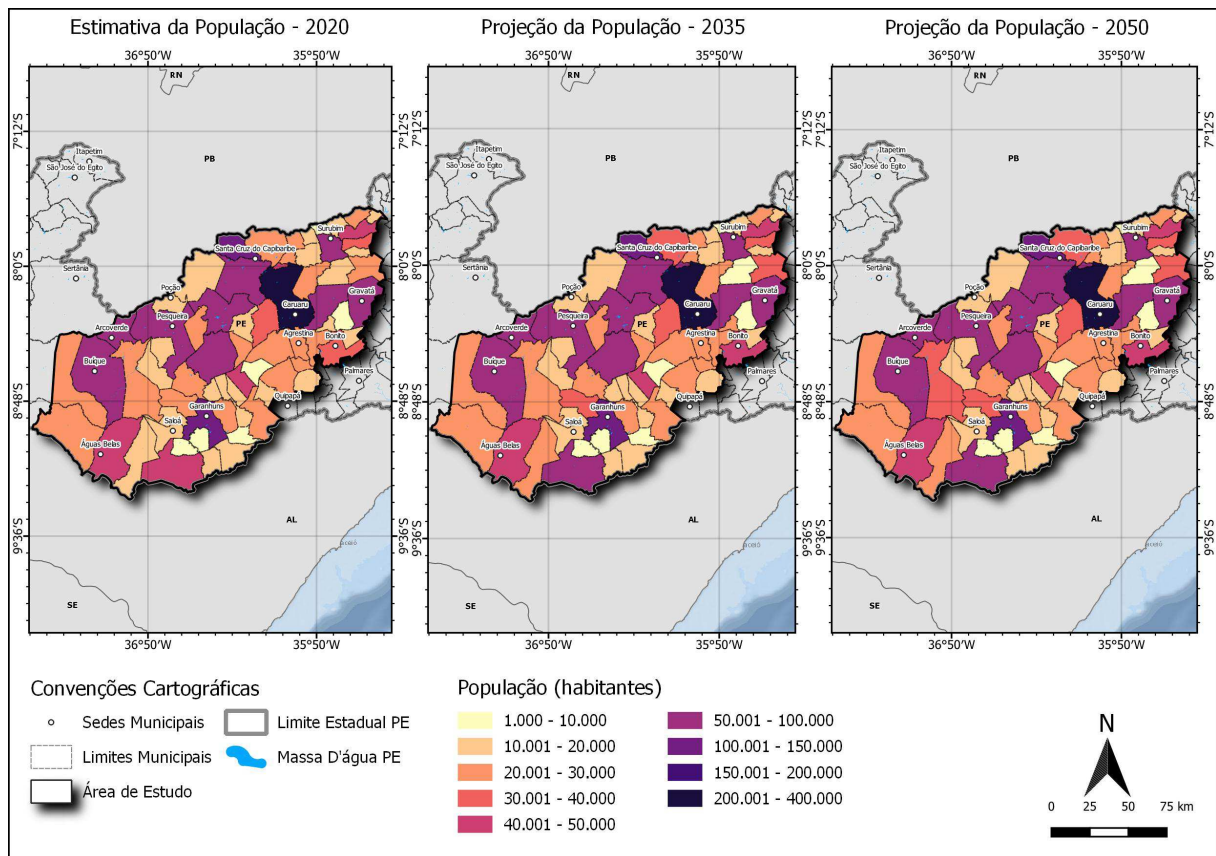
Nesse contexto, Caruaru detém a maior quantidade de pessoas tanto em ambiente rural quanto urbano dentro de seus limites municipais, sendo um total de 366.967 habitantes com uma projeção de aumento populacional de 26.723 pessoas. Observa-se que a segunda cidade mais populosa da região é Garanhuns, com 142.213 habitantes estimados em 2020 e com um aumento estimado para 149.837 pessoas em 2050. Santa Cruz do Capibaribe é o 3º município, com 109.712 habitantes, com 99% da população morando em áreas urbanas. Toritama se destaca, tornando-se quase 100% urbana em 2050. Os municípios com predominância de população rural são Casinhas e Paranatama, com 85% e 71% da concentração populacional em área rural em 2020.

Há uma projeção de déficit populacional para 2050 em 4 municípios, sendo eles: Cumarú, Sairé, Palmeirinha e Vertente do Lério. Além disso, estima-se que ocorra um ganho populacional abaixo de 1.000 habitantes em 24 municípios.

Dessa forma, a dinâmica populacional tem pouca variação com as estimativas e projeção de 2020, 2035 e 2050 (Figura 18), havendo uma tendência de urbanização em todos os municípios com destaque a Toritama. O crescimento é maior em Caruaru que se destaca

como um atrativo populacional devido a outras características que serão abordadas nos próximos tópicos.

Figura 18 – Estimativa e projeção populacional em 2020, 2035 e 2050



Fonte: O autor, 2023.

4.5.1.2. Índice de desenvolvimento humano municipal

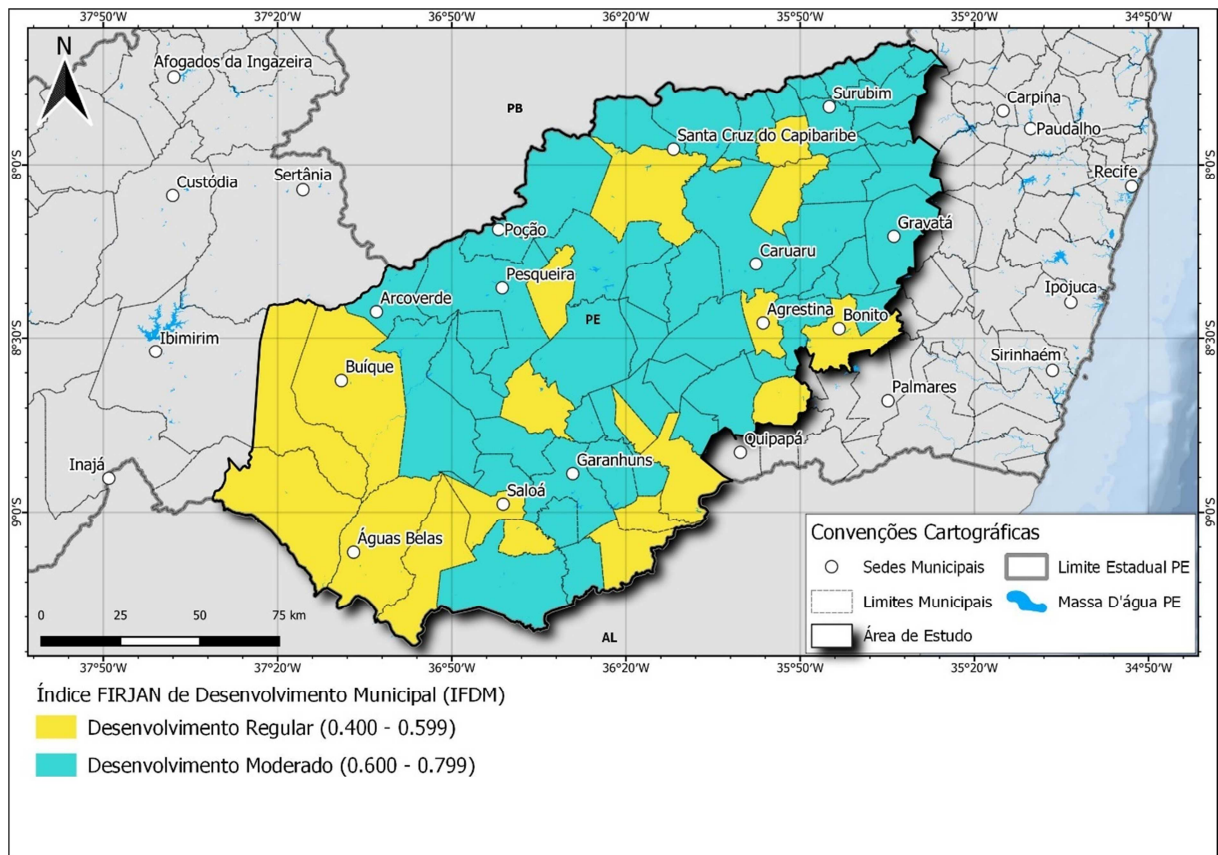
Para a análise do índice de desenvolvimento humano, foi adotado no PERH|PE (SEINFRA-PE, 2022) o Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal - IFDM de 2016, o qual considera uma média do emprego e renda, educação e saúde. O IFDM é elaborado pela Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro - FIRJAN para todos os municípios brasileiros.

O Índice considera a média de três áreas do desenvolvimento humano sendo: educação, saúde, emprego e renda. O índice tem seus resultados entre 0 e 1, sendo que quanto mais próximo a 1, melhor é o desenvolvimento da área.

A partir do exposto na Figura 19 e Tabela , verifica-se que todos os municípios têm o desenvolvimento municipal entre regular ou moderado. O eixo de desenvolvimento de saúde é considerado de alto desenvolvimento para parte dos municípios, entretanto o emprego e renda é de baixo estágio de desenvolvimento mantendo o IFDM como regular em grande parte das áreas.

Caruaru tem o IFDM de 0,7882, com pouca variação de valores dos eixos observados, e é o município com o mais alto índice de desenvolvimento no Estado de Pernambuco, apesar deste ser ainda considerado como Moderado na escala estabelecida pela FIRJAN, para a qual o Alto Desenvolvimento se expressa a partir do IFDM igual a 0,8000. Na área do estudo, em sequência, tem-se Jucati mantendo o índice de 0,6997, porém tem o eixo da saúde com 0,8246 e o eixo emprego e renda com 0,4746. A menor média de desenvolvimento é encontrada em Buíque, tendo o índice de 0,5511, o trabalho e a renda possuem baixo desenvolvimento, contemplando 0,3619.

Figura 19 - Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal



Fonte: O autor, 2023.

4.5.1.3. Índice de pobreza humana

Segundo o PERH|PE (SEINFRA-PE, 2022), a adaptação metodológica foi feita com apoio do IBGE e PNAD. A taxa foi calculada para a população com renda de até meio salário mínimo. No ano de referência 2010, o salário mínimo era de R\$ 510,00, aprovado pela Lei nº 12.255, de 15 de junho de 2010 (Brasil 2010). A população considerada extremamente pobre tinha renda de até R\$ 70,00, a população pobre tinha renda de até R\$ 140,00 reais e a população vulnerável à pobreza tinha renda de até R\$ 255,00.

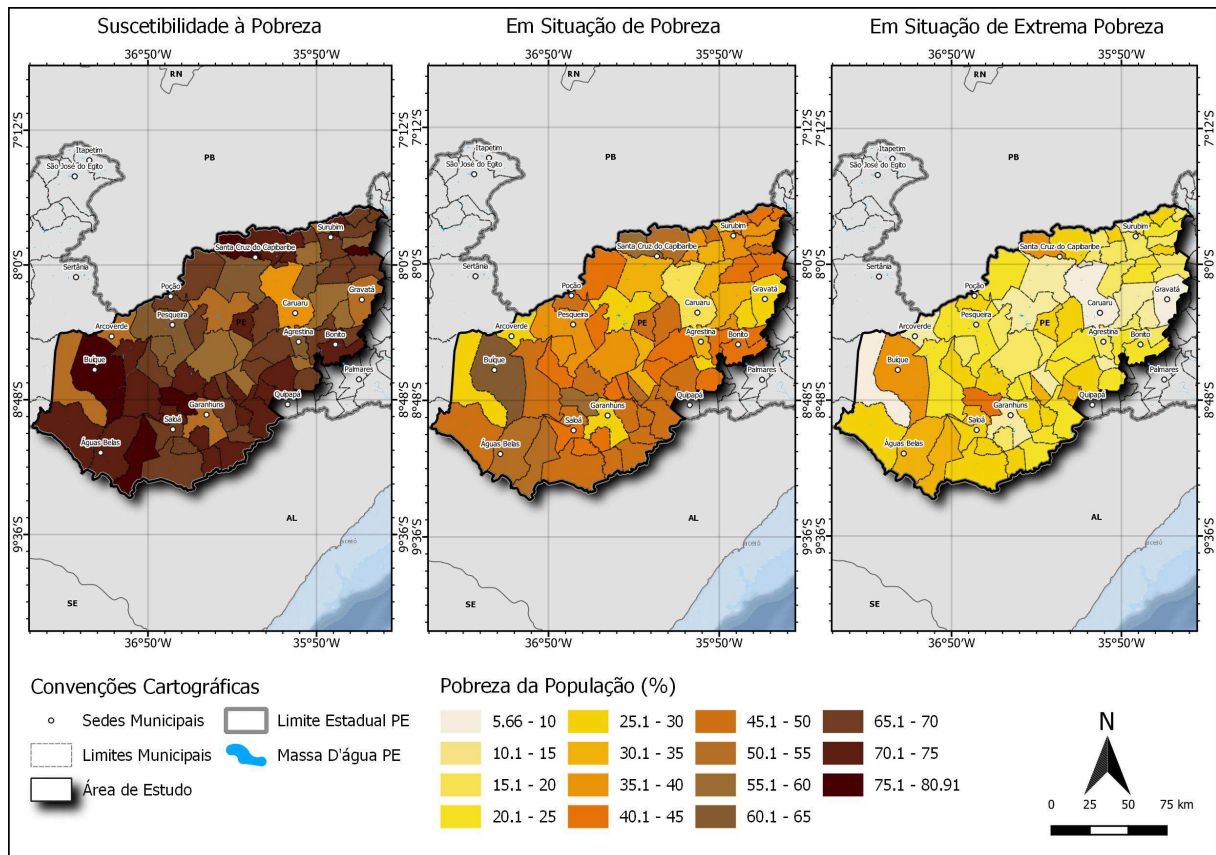
Diante disso, o cenário do índice de pobreza para a área de estudo é espacializado e quantificado na Figura 20 e

Tabela . Nesse sentido, verifica-se que, com exceção de Caruaru, que possuía 39% da população vulnerável à pobreza, todos os demais municípios tinham, pelo menos, 50% da população vulnerável, vivendo com renda de até meio salário mínimo per capita.

Ao verificar a situação de pobreza em que a população vivia, com renda de R\$ 140,00 reais per capita, o que equivale a 27,4% do salário no ano, é possível observar que a pobreza tende a aumentar à medida em que se afasta da região metropolitana. Buíque apresentava, em 2010, 62,2% de pobres e seis municípios possuíam mais de que 50% da população pobres, sendo elas: Caetés com 59,5%, Santa Cruz do Capibaribe com 55,5%, Iati com 52,2%, Calçado com 51,6%, Águas Belas com 50,8% e Taquaritinga do Norte com 50,1%.

O cenário observado é pior ao analisar os dados para a população extremamente pobre, que vivia com R\$ 70,00 reais por pessoa, o equivalente a 15% do salário mínimo em 2010. Caetés que possuía mais da metade da população pobre, tinha 42% de sua população considerada extremamente pobre, o que se reflete na falta de qualidade de vida das famílias, pois, sem recursos financeiros suficientes, a população acaba tendo de renunciar à aquisição de bens e serviços básicos, uma vez que recebiam apenas 15% do salário mínimo per capita. Buíque também é considerada a segunda cidade com maior quantidade de extremamente pobres, pois detinha 38% da população nessa situação. Os melhores indicadores se encontram em Caruaru, tendo os menores índices nas três categorias analisadas, mas é visível na Figura 20 a carência e vulnerabilidade financeira em toda a área de estudo.

Figura 20 - Taxa de habitantes extremamente pobres, pobres e vulneráveis a pobreza em 2010



Fonte: O autor, 2023.

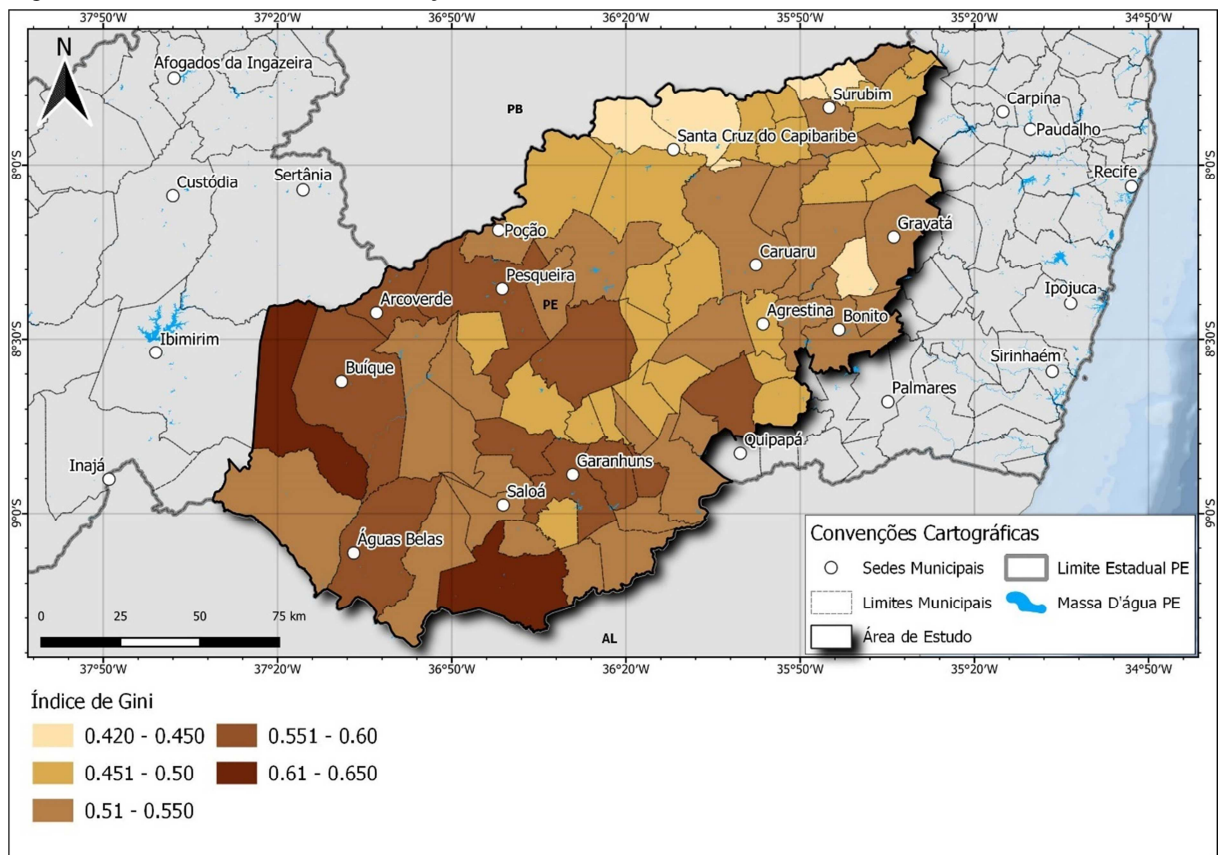
4.5.1.4. Índice de Gini de concentração de renda

O índice de Gini calcula a desigualdade de renda da população. Segundo o IPEA (2004), ele indica a diferença de rendimentos dos mais ricos e dos mais pobres. Este índice varia de 0 a 1, onde 0 indica uma situação de igualdade de rendimentos e o valor 1 indica desigualdade de renda.

Nesse sentido, a partir dos dados disponibilizados no PERH|PE (SEINFRA-PE, 2022), baseados no Atlas de Desenvolvimento Humano no Brasil (PNUD, 2014), verifica-se a partir do exposto na Figura 21 e Tabela , que a maior diferença de renda se encontra em Bom Conselho, com o Índice de Gini de 0,62, esse valor indica grande desigualdade entre as classes sociais. A segunda cidade com maior diferença de renda é Tupanatinga com Índice de 0,61. Os demais 47 municípios da área de estudo apresentam um Índice acima de 0,49. O menor dos índices é verificado em Taquaritinga do Norte, com 0,42. Dessa forma, a

desigualdade de renda é presente para grande parte da população, mesmo que esses municípios tenham um PIB elevado devido à alta produção dos segmentos econômicos, uma vez que, na maioria das vezes, há uma concentração de renda e o empobrecimento da maior parte dos habitantes da região.

Figura 21 - Índice de Gini de concentração de renda



Fonte: O autor, 2023.

4.5.2. Educação e Saúde

O grau de alfabetização da população é um dos pilares para o desenvolvimento de programas e projetos. Assim, nesse subcapítulo se apresenta a situação da população com relação ao problema do analfabetismo na região do estado.

No que concerne à saúde da população, procurou-se no presente estudo analisar a questão da mortalidade infantil na região e das doenças associadas à transmissão pela água, conhecidas como doenças de veiculação hídrica, relacionadas diretamente às condições de

saneamento básico e que contam com ações de programas governamentais de enfrentamento às denominadas doenças negligenciadas.

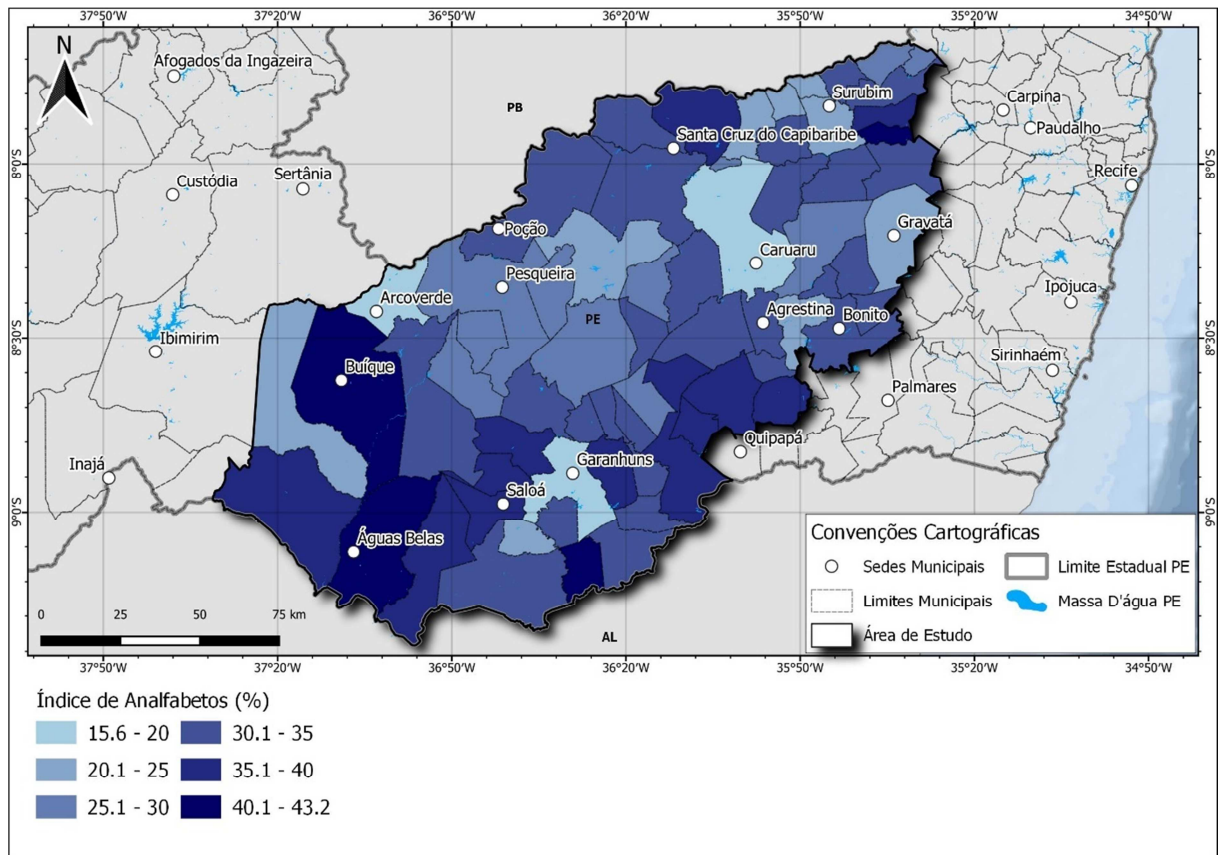
4.5.2.1. Analfabetismo

A taxa de analfabetismo é composta do percentual de pessoas com mais de 15 anos que não sabem ler e escrever pequenas frases ou textos. Essa característica de parte da população afeta o leque de oferta de trabalhos para a população devido à necessidade de leitura e escrita para diversos ofícios. Além disso, a inclusão social é afetada fortemente em consequência da falta de habilidade para comunicação e desenvolvimento de argumentos, entre outros. Dessa forma, o analfabetismo é uma característica de vulnerabilidade social brasileira e a falta da educação básica afeta o país em variadas porcentagens, a média brasileira em 2011, de acordo com o IBGE (2011), foi de aproximadamente 8,6%.

Nesse contexto, a área de estudo tem uma taxa acima da média brasileira, conforme é possível verificar na Figura 22 e Tabela , Salgadinho detém uma taxa de 43% da população não alfabetizada, o município não é muito urbanizado e com baixa densidade populacional. Em sequência, tem-se Águas Belas, Buíque, Lagoa de Ouro e Itaíba, este com uma taxa de 40% da população não alfabetizada.

Os municípios com os menores percentuais são: Caruaru com 16% de analfabetos, Arcoverde e Garanhuns com 18%, Terezina e Tupanatinga com 21%. Ao analisar o mapa com a espacialização da taxa de analfabetismo, verifica-se uma concentração maior na região sul da área de estudo, porém a taxa, em todos os municípios verificados, foi acima da média brasileira.

Figura 22 - Taxa de analfabetismo da população com 15 anos ou mais de idade



Fonte: O autor, 2023.

4.5.2.2. Mortalidade infantil

Segundo o Ministério da Saúde (2021, p.1),

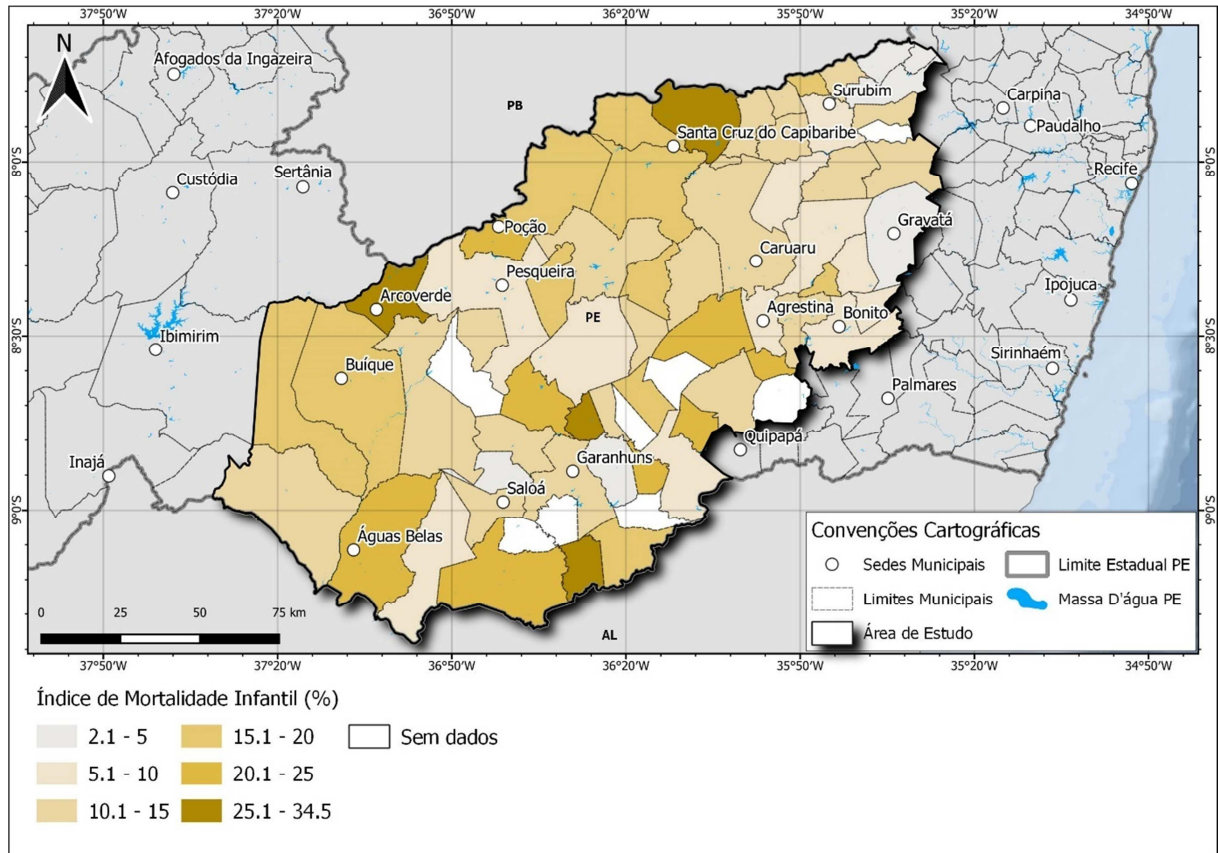
A mortalidade infantil é um importante indicador de saúde e condições de vida de uma população. Com o cálculo da sua taxa, estima-se o risco de um nascido vivo morrer antes de chegar a um ano de vida. Valores elevados refletem precárias condições de vida e saúde e baixo nível de desenvolvimento social e econômico.

Na área em estudo foram obtidos dados sobre a mortalidade infantil referentes ao ano 2017, através do PERH/PE (SEINFRA-PE, 2022), onde foi possível constatar um alto índice de mortalidade infantil em alguns municípios, que guarda forte relação com a precariedade do saneamento básico, fundamental para que a população desempenhe suas atividades básicas diárias. Nesse sentido, os reflexos desse índice trazem um importante empecilho ao desenvolvimento social da população residente na região.

Verifica-se pela Figura 23 e Tabela que os municípios com maiores taxas de mortalidade infantil não se localizam muito próximos. Jucati, tinha em 2017, uma taxa de mortalidade igual a 34%, valor maior que o dobro da média nacional, que era de 13,4% em 2017 (Brasil, 2021). A projeção populacional, Tabela , indica uma população aproximada de 11.626 habitantes e, mesmo que tenha um alto índice IFDM no segmento saúde, tem 34% de mortalidade infantil. Taquaritinga do Norte está geograficamente distante de Jucati, entretanto, também tem alto índice de mortalidade infantil, sendo este valor 29%. Ambos os municípios apresentam o PIB, conforme a Tabela , com maior dependência da administração pública, o que indica ser um fator de precariedade da vida da população local. Arcoverde tem 28% de mortalidade, é distante dos municípios já citados, porém, compartilha das características já citadas, além disso, os municípios têm o Índice Gini elevado, como verificado na Tabela em que Arcoverde tem Índice de 0,58, indicando assim que existe forte desigualdade de renda.

Oito municípios, segundo os dados obtidos do PERH|PE, não têm taxa de mortalidade infantil, estando esta indicada por 0%. É uma característica muito boa, porém, parece se tratar de uma utopia, uma vez que ao relacionar os dados da Tabela , referentes ao esgotamento sanitário, que é fundamental para a saúde da população e higiene básica, percebe-se que não há a presença de tratamento de esgoto para nenhum dos oito municípios, e nem atendimento de esgotamento sanitário para sete deles. Diante disso, tudo indica que tais índices não são realistas e no presente estudo foram considerados como “sem dados”.

Figura 23 - Taxa de mortalidade infantil



Fonte: O autor, 2023.

4.5.2.3. Doenças de Veiculação Hídrica

Criado em 2013 pelo Governo de Pernambuco, o Programa de Enfrentamento de Doenças Negligenciadas (SANAR) tem por objetivo o combate aos seguintes agravos: helmintíases, esquistossomose, filariose, doença de chagas, hanseníase, tuberculose e tracoma (Pernambuco, 2015). Os dois primeiros são doenças associadas à transmissão pela água, que agregadas à leptospirose, permitem apresentar um quadro de análise abrangente da questão das doenças de veiculação hídrica na região do estudo.

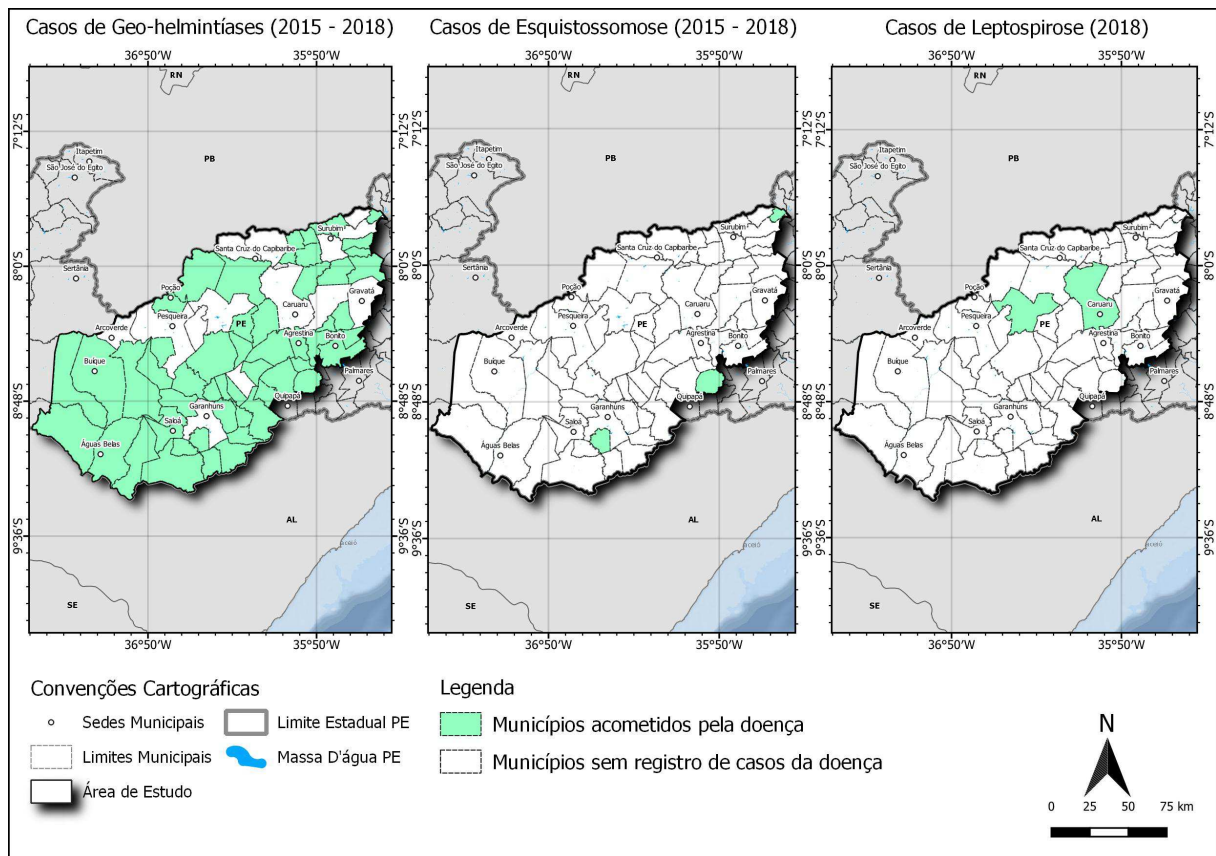
No SANAR 2015-2018 foram definidas as localidades que, pelo alto índice de positividade nos testes laboratoriais, deveriam constar do rol de municípios prioritários para o combate às helmintíases e à esquistossomose.

No que concerne à leptospirose, uma das doenças infecciosas que pode aumentar a ocorrência em momentos de transbordamento dos rios, pela permanência da bactéria causadora no solo e na água, transmitida através da exposição direta ou indireta à urina de

animais (principalmente ratos), através do Sistema de Agravos de Notificação do Ministério da Saúde é possível identificar quais municípios da região do estudo possuem dados confirmados de ocorrência.

Assim, a Figura 24 apresenta os municípios acometidos por doenças de veiculação hídrica relacionados no SANAR e no Sistema de Agravos de Notificação do Ministério da Saúde.

Figura 24 - Municípios acometidos por doenças de veiculação hídrica



Fonte: O autor, 2023.

4.5.3. Atividades econômicas

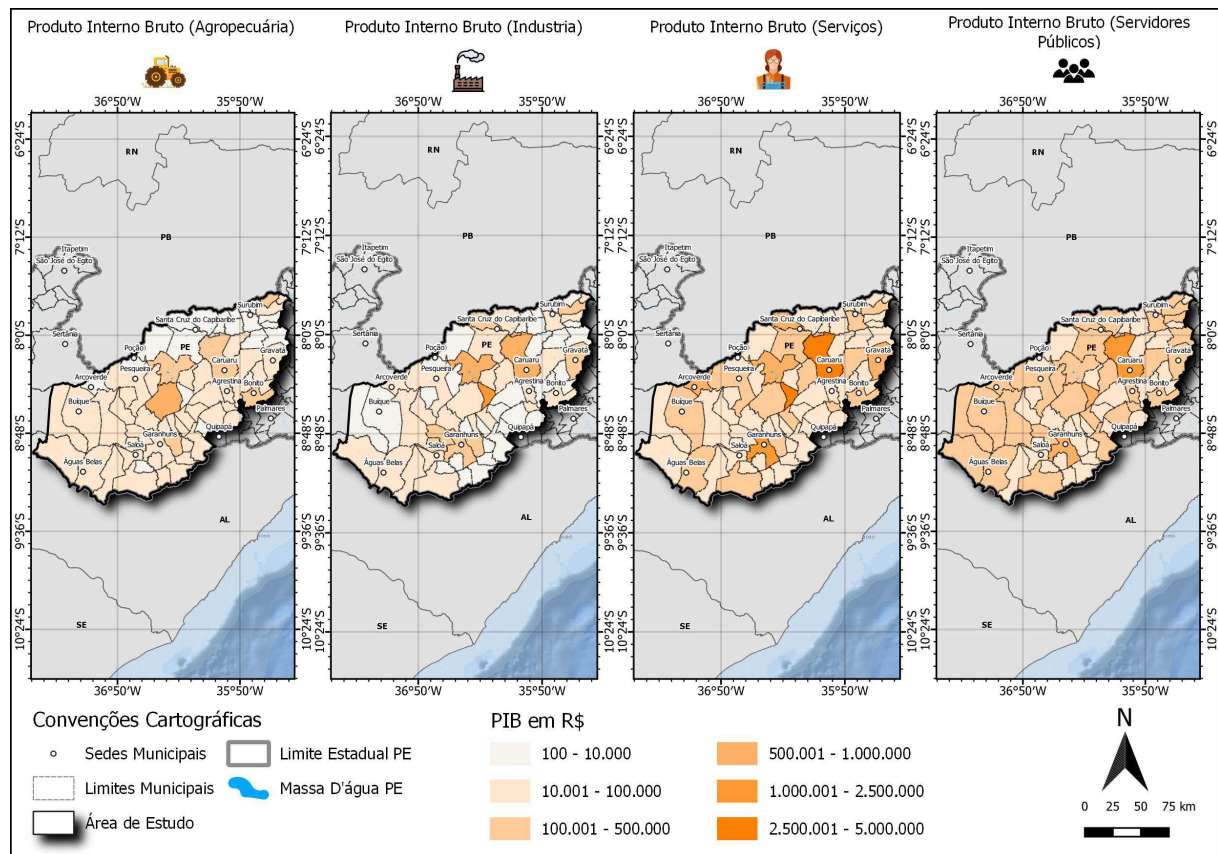
As atividades econômicas na região são caracterizadas no presente estudo sob a ótica do Produto Interno Bruto (PIB) em sua dimensão municipal, sob a configuração produtiva dos setores agropecuário, industrial, de serviços e da administração pública.

4.5.3.1. PIB

Segundo o IBGE (2022b), o Produto Interno Bruto é a soma de todos os bens e serviços finais produzidos por um país, estado ou cidade, essa soma calcula apenas os bens e serviços finais, para evitar a duplicação da conta.

A composição do PIB dos municípios se divide nos setores de serviços, industrial, agrário e administração pública. O PIB do ano de 2019 fornecido pelo IBGE foi segmentado em quatro eixos: o setor agropecuário, setor industrial, setor de serviços e o setor de administração pública, evidenciados na Figura 25 e Tabela .

Figura 25 - Produto Interno Bruto segmentado pelo setor agropecuário, industrial, de serviços e a administração pública



Fonte: O autor, 2023.

Na área em análise, o setor agropecuário é de grande importância ao município de São Bento do Una, com R\$ 794.584,00 que equivale a 63% do total, em contrapartida, o setor industrial no mesmo município foi de R\$ 40.666,00, equivalentes a 3,2% do total. O município se localiza na região central da área em estudo, tendo limites com outros

municípios que têm em sua dinâmica econômica grande peso advindo do setor agropecuário, sendo eles: Belo Jardim, Tacaimbó e Lajedo. Cachoeirinha tem R\$ 348.000,00 agregados pela agropecuária, sendo um dos mais baixos da área analisada, entretanto, se destaca com o setor industrial e de serviços. Os demais municípios com o PIB desse setor com baixo valor no ano verificado, em geral tiveram pouco fluxo econômico ao agregar os outros segmentos.

O setor industrial ou manufatureiro se destacou em Cachoeirinha, conforme discutido no parágrafo anterior, sendo o município com maior fluxo no ano de 2019, com R\$ 1.094.694,00 o setor foi responsável por 23% do PIB municipal. O segundo município com maior fluxo foi Caruaru, com R\$ 793.572,00. Em 58 dos 69 municípios o setor manufatureiro movimentou menos de R\$ 100.000,00 em cada um deles.

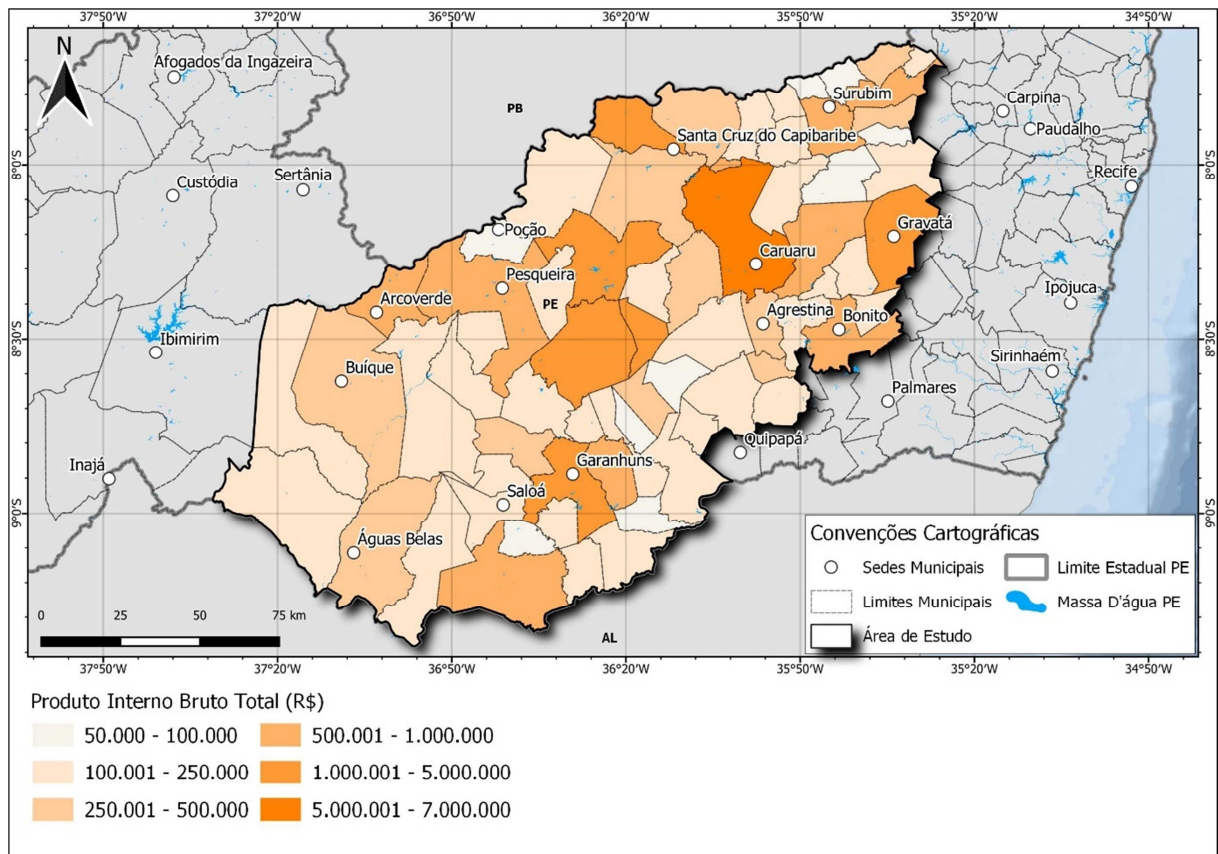
O setor de serviços é o que tem maior destaque no fluxo financeiro, esse setor é responsável pela empregabilidade formal e informal de uma grande quantidade de pessoas. De acordo com os dados fornecidos pelo IBGE, em Caruaru o fluxo financeiro do segmento de serviços é responsável por 63% do PIB municipal, que é de R\$ 6.538.193,00, o maior da área em estudo. Verifica-se que o maior polo econômico da região é Caruaru, representando aproximadamente 19% do somatório de todos os municípios. Em 47 dos 69 municípios, a movimentação advinda do setor é menor que R\$ 100.000,00 por município.

O peso da administração pública na área em análise é de 32% no total, há uma variação entre os municípios, Caruaru detém o maior fluxo advindo da administração pública, entretanto esse valor representa 23% do fluxo municipal, além disso devido à quantidade populacional, ao analfabetismo com menor percentual da área, ao IFDM com desenvolvimento moderado e à grande oferta de empregabilidade no setor de serviços, a administração pública deve estar presente para a manutenção e oferta de serviços básicos, de forma a manter o município atrativo à população e aos investimentos privados.

Casinhas tem em seu PIB total 73% do fluxo advindo da administração pública e essa situação, de dependência da administração pública, é observada em muitos municípios. Verifica-se que 14 dos 69 municípios têm em seu PIB pelo menos 60% do fluxo advindo da administração pública.

A Figura 26 apresenta o PIB total dos municípios atendidos pelo Sistema Adutor do Agreste Pernambucano. Nota-se o destaque de Caruaru, Belo Jardim, São Bento do Una, Gravatá, Garanhuns e Santa Cruz do Capibaribe como os municípios de maior atividade econômica na região.

Figura 26 - Produto Interno Bruto total



Fonte: O autor, 2023.

4.5.4. Saneamento Básico

Segundo o Art. 3º da Lei Federal nº 11.445/2007 (Lei do Saneamento), o Saneamento Básico é definido como o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, e drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes urbanas (Brasil, 2007).

O saneamento reflete aspectos socioeconômicos e qualidade de vida da população, há uma desigualdade na disponibilidade destes serviços no território brasileiro e na área de estudo é possível verificar a ausência de alguns desses serviços básicos em parte dos municípios.

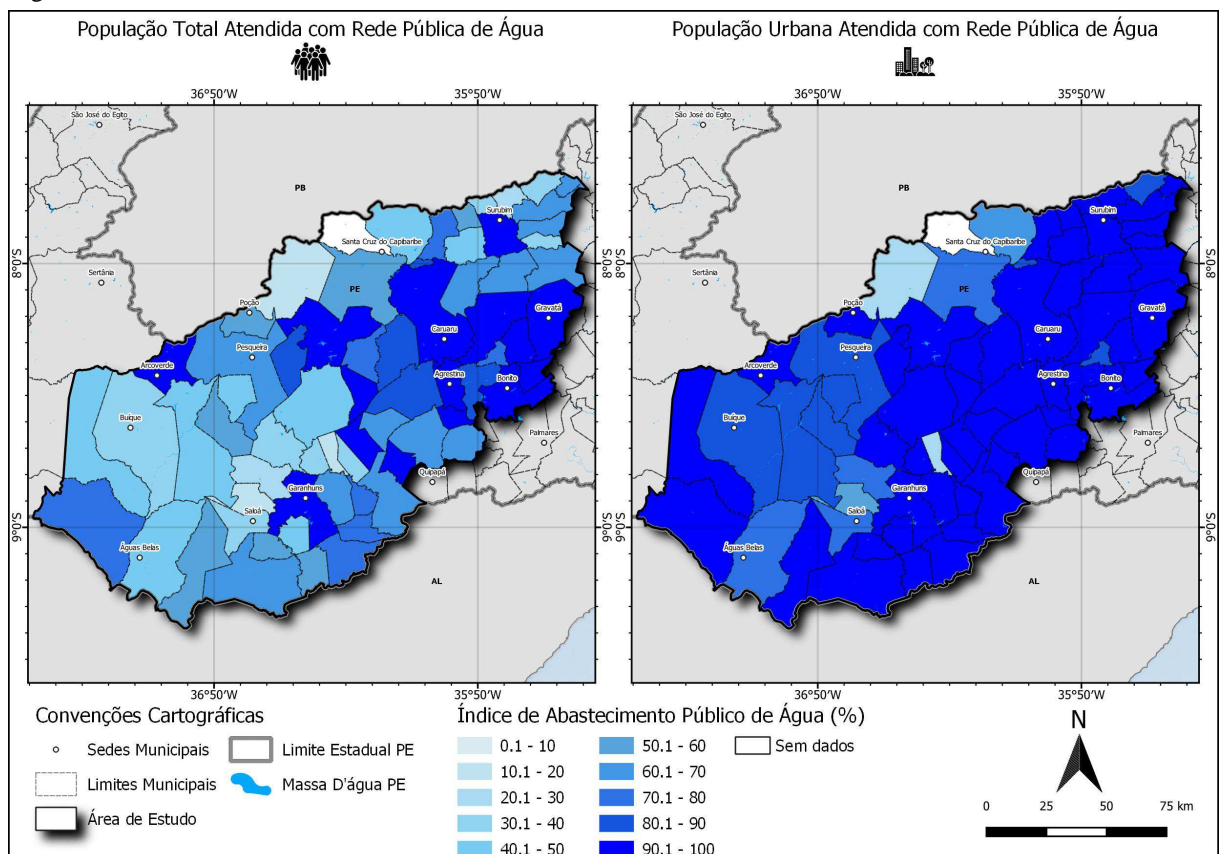
4.5.4.1. Abastecimento d'água

O abastecimento de água potável é importante para diversos fins da sociedade, a disponibilidade hídrica para o ambiente doméstico é essencial para a higiene e preparação de alimentos, dentre outras finalidades. Além disso, os ambientes rurais e industriais também dependem da água para que exerçam seus propósitos com êxito.

Diante disso, o contexto atual da área de estudo é exposto pela Figura 27. O abastecimento hídrico urbano é presente para 100% da população em 48 dos 69 municípios, o abastecimento ocorre de forma muito precária em Jupi com 26% e Jataúba com 27%. Já o índice de atendimento total é insuficiente para a população, apenas 10 municípios atendem totalmente a população, ou seja, 59 municípios atendem insuficientemente a sua população total.

Além disso, o atendimento é extremamente precário em alguns locais como Paranatama, com 12% de atendimento total, um índice muito ruim, devido à importância da água como um recurso essencial para uma vida com qualidade. Jupi e Jataúba atendem apenas 16% da sua população e Caetés abastece apenas 20% da população total.

Figura 27 - Abastecimento hídrico urbano e total

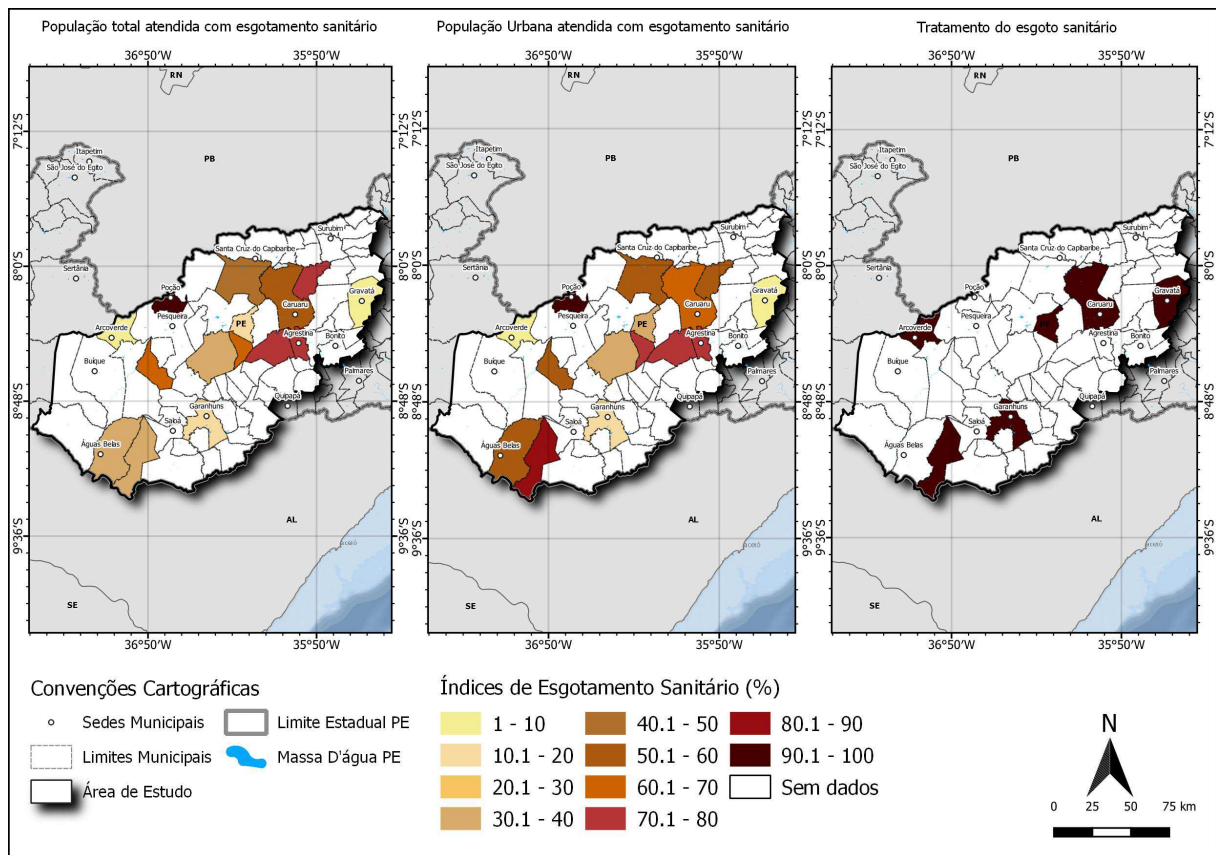


Fonte: O autor, 2023.

4.5.4.2. Esgotamento sanitário

Os municípios analisados apresentaram importantes variações no índice de atendimento, conforme exposto na Figura 28 e Tabela . Apenas Poção oferece coleta de esgotamento sanitário à população urbana e rural, porém não tem tratamento de esgoto. Iati oferta o serviço a 90% da população urbana, porém apenas 38% da população rural tem coleta de esgoto. No total, apenas 15 municípios têm infraestrutura de esgotamento sanitário, uma realidade de ausência de infraestrutura básica observada nos outros 54 municípios, considerando a importância do serviço para que haja o completo atendimento à população da região, que, conforme exposto na Tabela , é estimada em 2.429.265 habitantes em 2020 e é 75% urbanizada. Além disso, o tratamento do esgoto coletado é efetuado por apenas seis municípios, o que possibilita a contaminação dos cursos d'água e do solo nos 63 municípios restantes, com precariedade ou ausência dos serviços de esgotamento sanitário, como ilustrado na Figura 28.

Figura 28 - Atendimento de coleta e tratamento de esgotamento sanitário



Fonte: O autor, 2023.

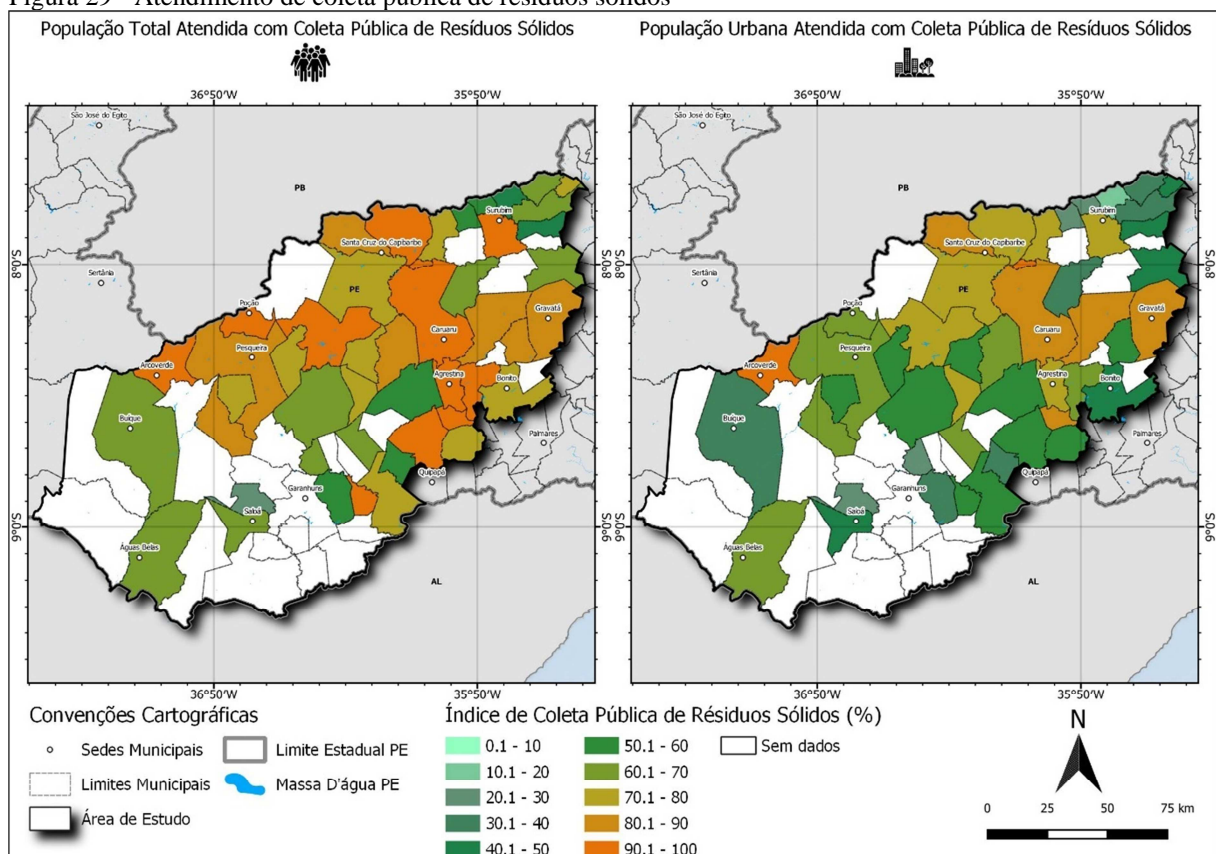
4.5.4.3. Limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos

A limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos urbanos são fundamentais para a manutenção do saneamento básico. Segundo o SNIS, a coleta é considerada regular quando o serviço é prestado com frequência, com uma regularidade mínima de uma vez por semana.

A área urbana atendida consiste na população das sedes, distritos e povoados. Já a população total, considera o somatório do serviço de coleta prestado na área urbana e rural.

É possível visualizar a ineficiência do atendimento à população na Figura 29 e Tabela , o atendimento urbano não atende a toda a população em nenhum dos municípios; em 22 deles não têm atendimento regular, em 33 dos municípios o atendimento urbano é precário, com a taxa de atendimento entre 12% a 68%; os melhores cenários são observados em Toritama com 96% e Arcoverde com 90%. Caruaru, Cupira e Gravatá têm em comum a representação do percentual de 88% de coleta dos resíduos sólidos. O atendimento total segue a mesma dinâmica do atendimento urbano, com pouca variação, indicando que a coleta é realizada na área urbana da maioria dos municípios, conforme exposto na Figura 29.

Figura 29 - Atendimento de coleta pública de resíduos sólidos



Fonte: O autor, 2023.

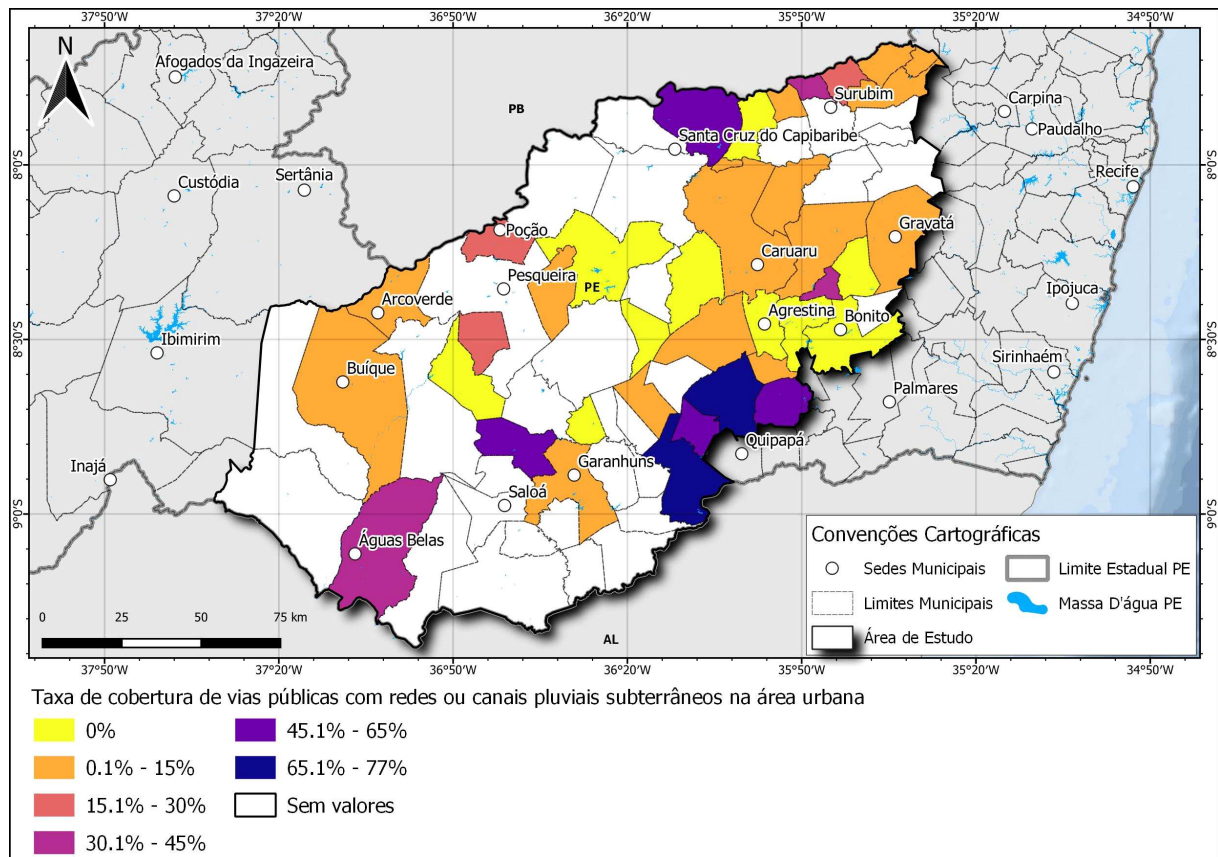
4.5.4.4. Drenagem, manejo das águas pluviais e vulnerabilidade a inundações

Os sistemas de drenagem podem ser divididos em duas escalas, sendo elas a microdrenagem e a macrodrenagem. A microdrenagem consiste em um sistema de drenagem relacionado com as vias locais, constituído pelas sarjetas, bocas-de-lobo, poços de visita e redes, dentre outros dispositivos para coleta e condução das águas pluviais. No que tange à escala da macrodrenagem, o sistema é constituído pelos principais talwegues, como os rios, córregos, canais e outras estruturas que armazenam e conduzem grandes volumes de água derivados, principalmente, das chuvas.

Para retratar essa dinâmica na área de estudo, gerou-se um cartograma destacando a porcentagem da taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana de alguns municípios, uma vez que os dados não estão disponíveis para toda a área de estudo, com base em dados do SNIS (2020). Diante da análise dos dados qualitativos apresentados na Tabela e espacializados na Figura 30, pode-se perceber que grande parte da área em estudo se encontra com déficit de dados, cerca de trinta e um municípios não dispõem dos dados de cobertura, enquanto outra parte significativa, representada por dez municípios, não possui nenhuma cobertura de drenagem nas áreas urbanas, ou seja, apresentam problemas muito sérios nessa área do saneamento ambiental.

No que tange aos municípios com alguma taxa de cobertura de drenagem, observa-se que treze municípios se encontram entre 0,1% a 10% de cobertura; seis municípios detêm o quantitativo entre 10,1% a 25%; três municípios encontram-se entre 25,1% a 50% e, contemplados pelos quantitativos entre 50,1% a 77%, estão presentes em apenas seis municípios da área de estudo.

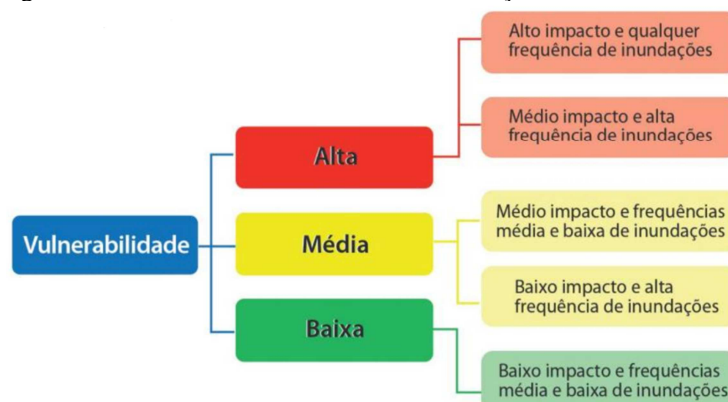
Figura 30 - Taxa de cobertura da rede drenagem urbana



Fonte: O autor, 2023.

O Atlas de Vulnerabilidade a Inundações (ANA, 2014) é uma ferramenta que identifica a susceptibilidade das áreas às inundações graduais, por meio de informações relativas à frequência de sua ocorrência, e os impactos por elas gerados no entorno dos principais rios das bacias hidrográficas brasileiras, formando uma matriz de vulnerabilidade que serve de guia para a implementação de políticas públicas de prevenção e mitigação de impactos de eventos hidrológicos críticos. Essa matriz pode apresentar a seguinte gama de resultados mostrados na Figura 31.

Figura 31 – Matriz de vulnerabilidade a inundações



Fonte: ANA, 2014.

Segundo o Atlas de Vulnerabilidade a Inundações (ANA, 2014), o estado de Pernambuco possui 397 trechos inundáveis, sendo 76 (19%) com baixa vulnerabilidade, 164 (41%) com média vulnerabilidade e 157 (40%) trechos com alta vulnerabilidade, com a porção leste do estado concentrando o maior número de trechos com alta vulnerabilidade.

Na região atendida pelo SAAP, destacam-se ao longo do curso do rio Capibaribe as cidades de Toritama e Santa Cruz do Capibaribe, localizadas em trechos de rio com média vulnerabilidade e frequência a inundações. No que concerne às cidades ribeirinhas do rio Ipojuca, Gravatá, Bezerros e Caruaru encontram-se em trechos avaliados como de média vulnerabilidade e frequência a inundações, enquanto São Caetano, Tacaimbó e Belo Jardim também apresentam média vulnerabilidade, mas com baixa frequência a inundações. Já ao longo do rio Una, Altinho encontra-se em um trecho de rio que apresenta alta vulnerabilidade e frequência a inundações, enquanto Cachoeirinha e São Bento do Una, mais a montante, situam-se em trechos com média vulnerabilidade, mas com média e baixa frequência a inundações, respectivamente. Por fim, junto à cidade de Correntes, o rio Mundaú apresenta alta frequência e vulnerabilidade a inundações.

4.6. Segurança hídrica e universalização do abastecimento d'água na região

4.6.1. Sistemas integrados de abastecimento d'água

A Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA – é responsável pelo abastecimento de 95% dos municípios de Pernambuco. Os sistemas exclusivamente isolados atendem 45% das sedes urbanas e a 21% da população. No que se refere aos sistemas integrados, que abastecem mais de um município, a oferta de água no Estado provém de mananciais estratégicos. A principal solução para o atendimento às cidades localizadas na região semiárida é o Rio São Francisco que, além de atender aos municípios ribeirinhos, também abastece várias sedes municipais por meio de sistemas adutores integrados, como Oeste, Pajeú, Jatobá/Tacaratu, Salgueiro e Afrânio/Dormentes.

No contexto do PISF, em Pernambuco, estão sendo desenvolvidos projetos e implantação de grandes obras de adução de água, as quais têm suas captações ligadas

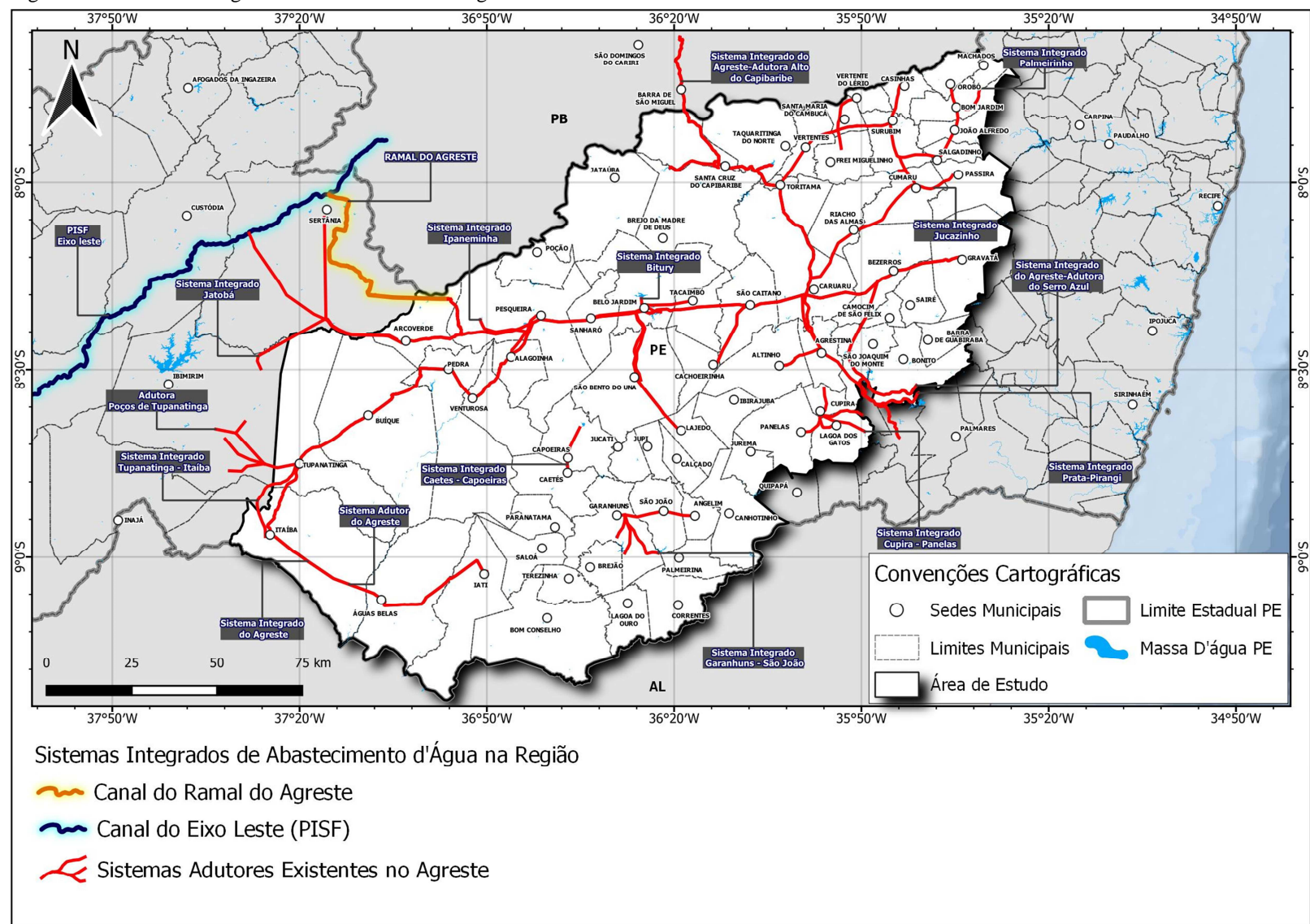
diretamente aos canais da transposição. No Eixo Leste, o Sistema Adutor do Agreste Pernambucano (SAAP), objeto da presente dissertação, com grande parte de sua 1ª fase já em operação e o Sistema Adutor do Pajeú, que tem sua 1ª Etapa e 1ª Fase da 2ª Etapa em operação, e a 2ª Fase da 2ª Etapa em implantação.

O SAAP, obra de grande porte que atualmente abastece 23 municípios do estado, possui duas captações relacionadas a esse eixo, sendo a principal no Reservatório do Ipojuca e a segunda na Barragem Moxotó. A 1ª Etapa da Adutora do Agreste visa uma capacidade máxima da ETA de 2 m³/s, porém devido a situação crítica do Agreste Pernambucano foram executadas diversas obras complementares em caráter emergencial, como a Adutora Alto do Capibaribe (com captação no Rio Paraíba), Adutora dos Poços de Tupanatinga e Adutora da Barragem Serro Azul. Esses sistemas complementares continuarão reforçando os sistemas desses municípios, mesmo após a Adutora do Agreste esteja em pleno funcionamento, e, para que isso seja possível, destaca-se a necessidade da conclusão de obras complementares, a exemplo da Ampliação da ETA Salgado em Caruaru, obra já em execução pelo MIDR, cuja capacidade de tratamento atualmente não suporta a vazão vinda do SAAP.

Também há uma previsão para ampliação deste sistema, de forma a abastecer um total de 69 municípios do Agreste Pernambucano que sofrem com problemas de qualidade da água e déficit hídrico recorrentes, além dos eventos extremos de secas. Assim, entende-se que, para usufruir adequadamente dos recursos do PISF, o estado necessita da implementação de algumas obras importantes de infraestrutura hídrica, das quais se destaca a 2ª Etapa da Adutora do Agreste, com mais 2 m³/s de suprimento de água tratada.

A Figura 32 apresenta a disposição dos sistemas integrados de abastecimento d'água existentes no Agreste Pernambucano.

Figura 32 – Sistemas integrados de abastecimento d'água existentes



Fonte: O autor, 2023.

4.6.2. Segurança hídrica quanto à capacidade dos mananciais e sistemas de produção de água para o abastecimento urbano

No contexto do Atlas Águas (ANA, 2021), a segurança hídrica do abastecimento urbano de água, caracterizada pela vulnerabilidade dos mananciais, foi tratada inicialmente mediante balanço hídrico entre oferta e demanda de água, foi expandida de forma a caracterizar o risco de desabastecimento da população urbana frente a eventos de seca extremos intensificados por mudanças climáticas.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) relata que as mudanças climáticas são irreversíveis e que os impactos resultantes dessas mudanças irão se agravar nas próximas décadas, tornando urgente a implementação de estratégias e ações de adaptação (IPCC, 2021).

O Atlas Águas buscou refletir essas estratégias, ao incluir etapas de análise que buscam agregar indicadores complementares à análise de risco hídrico derivada do balanço, as quais incidem sobre a classificação da vulnerabilidade do manancial e induzem à implementação de ações de adaptação para incremento da segurança hídrica das sedes municipais do país.

A avaliação inicial considerou o ISH (Índice de Segurança Hídrica) – Dimensão Resiliência como fator de reconhecimento de áreas críticas e vulneráveis com relação ao potencial dos estoques de água para suprimento de demandas a múltiplos usuários em situações de estiagem severa e seca. Mudanças nos padrões espaço-temporais das características estatísticas da precipitação, associadas à existência de estoques de água, são elementos que propiciam uma maior acurácia na consideração do risco climático e orientam a necessidade de implantação de medidas adaptativas.

Agrega-se a isso o balanço oferta versus demanda, adotando vazões de referência com 95% de permanência que, embora característica de períodos de escassez, não podem, por si só, balizar a tomada de decisão para um cenário de mudanças climáticas.

Assim, a estimativa das vazões de referência como disponibilidade hídrica nos mananciais, além de incorporar mudanças identificadas nos registros históricos das variáveis hidrometeorológicas monitoradas, considera tanto as incertezas amostrais como também a variabilidade natural, o que possibilitou incorporar o risco climático vigente no balanço hídrico.

Na etapa seguinte, foi feita uma avaliação do porte do manancial, considerando que para mananciais de pequena capacidade o grau de incerteza quanto à determinação de sua disponibilidade hídrica é ainda maior, bem como são menos resilientes a secas extremas ou prolongadas. Essa característica foi adotada como um grau adicional de vulnerabilidade.

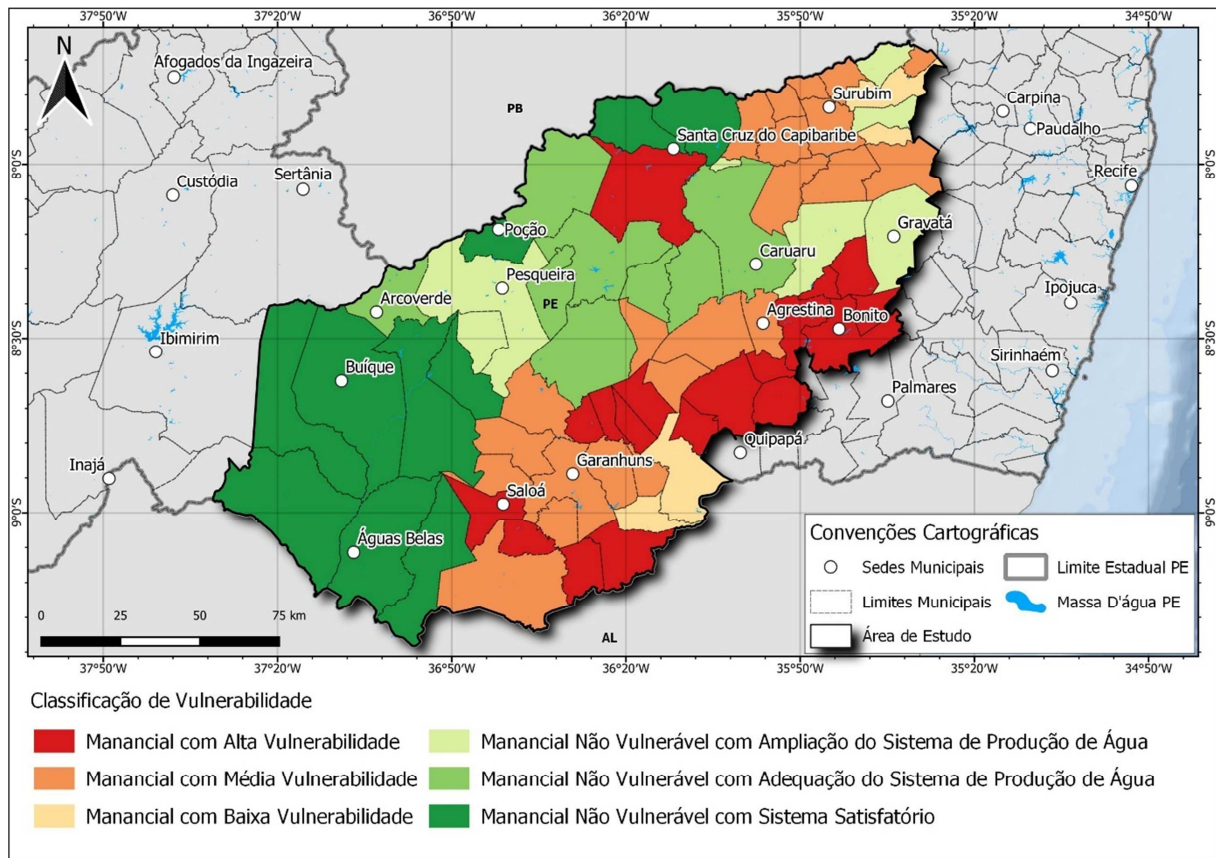
Uma análise qualitativa encerrou a classificação da vulnerabilidade das sedes urbanas quanto a seus mananciais, ao considerar fatos e evidências que comprovam que uma parcela da demanda não foi suprida. Como exemplos citam-se os decretos de racionamento do abastecimento e os dados de operação dos prestadores de serviço. Esse tipo de consideração incorpora realidades locais, por vezes não capturadas na análise de escritório, e que eventualmente retratam mudanças no padrão da oferta hídrica dos mananciais.

Dessa forma, para a escala temporal e de abrangência do Atlas Águas foram incorporadas as ameaças de crises hídricas devido às mudanças climáticas, representadas pela identificação das vulnerabilidades dos mananciais que devem ser utilizadas como referência para medidas de adaptação.

A avaliação dos mananciais e sistemas produtores realizada pelo Atlas Águas apontou que 64% das sedes urbanas abastecidas pelo Sistema Adutor do Agreste apresentam mananciais vulneráveis, em diferentes níveis, conforme apresentado na Tabela : 26% com Alta Vulnerabilidade, 32% com Média Vulnerabilidade e 6% com Baixa Vulnerabilidade, abrangendo 39% da população urbana (715.313 mil habitantes). Apenas 10 sedes municipais (14% do total) apresentam Manancial não Vulnerável e sistema produtor satisfatório, e 22% necessitam de ampliações ou adequações nas unidades dos sistemas de produção de água.

A Figura 33 apresenta um mapa com o resultado da avaliação da vulnerabilidade à segurança hídrica dos mananciais e sistemas produtores de água dos municípios atendidos pelo SAAP.

Figura 33 - Vulnerabilidade à segurança hídrica quanto à capacidade dos mananciais e sistemas de produção de água dos mananciais e sistemas produtores dos municípios atendidos pelo SAAP



Fonte: O autor, 2023.

A determinação das proposições de ações no Atlas Águas por município foi baseada nas seguintes premissas, válidas como ponto inicial, a serem cotejadas também com as demais informações, baseadas nas análises apresentadas nos itens subsequentes do presente estudo:

- Municípios classificados com Alta e Média Vulnerabilidade: entende-se que há necessidade de intervenção estrutural independente do diagnóstico do sistema;
- Municípios classificados com Baixa Vulnerabilidade ou Não Vulnerável e cujo sistema apresenta Necessidade de Ampliação: entende-se que há necessidade de intervenção estrutural, podendo esta estar atrelada ao manancial e ao sistema concomitantemente, ou a apenas um deles;
- Municípios classificados com Baixa Vulnerabilidade ou Não Vulnerável e cujo sistema apresenta Necessidade de Adequação ou se encontra Satisfatório: entende-se que não há necessidade de intervenção estrutural, sendo indicadas ações de gestão, como melhorias no gerenciamento técnico das perdas d'água.

4.6.3. Segurança hídrica quanto à qualidade da água dos mananciais para o abastecimento urbano

A segurança hídrica relacionada à qualidade da água dos mananciais que abastecem as áreas urbanas do país foi avaliada no Atlas Águas (ANA, 2021) através da análise da vulnerabilidade relativa a dois indicadores junto às captações superficiais:

✓ **Segurança nas Barragens de Rejeito**

Indicador que considera a existência de um total de mais de 700 barragens de rejeitos de mineração no País em 2017 e os danos potenciais (impactos) nos trechos de jusante, decorrentes de um eventual rompimento, com base na avaliação da sua condição de segurança (risco de rompimento). Em trechos com mais de uma barragem localizada a montante, adotou-se o valor mais crítico.

✓ **Qualidade Adequada**

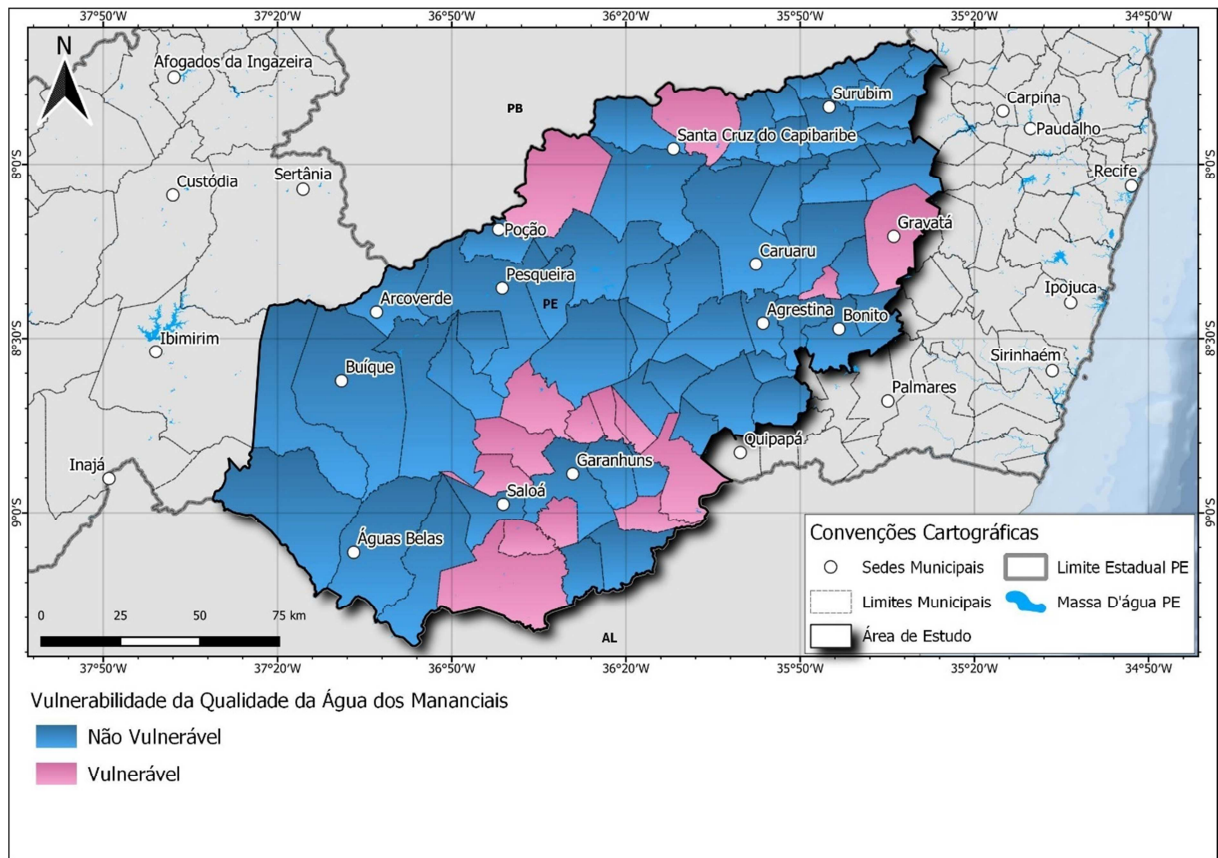
Indicador avaliado mediante a análise das concentrações $DBO_{5,20}$ nos cursos d'água, considerando padrões definidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 357/2005. Para tanto, foram utilizadas as informações do Atlas Esgotos (ANA, 2017).

Ambos os indicadores são provenientes do PNSH (ANA, 2019), sendo que a composição foi feita considerando-se o pior caso entre os dois indicadores.

No que concerne à vulnerabilidade da qualidade da água do abastecimento subterrâneo, foram consideradas informações provenientes de entrevistas com os operadores, ou seja, consideraram-se vulneráveis aqueles em que os operadores informaram claramente que há problema constatado de qualidade da água captada, e Não Vulnerável aquele em que não há apontamentos desta natureza.

A Tabela e Figura 34 apresentam o resultado da avaliação da segurança hídrica dos mananciais superficiais e subterrâneos dos municípios na área de abrangência do SAAP. Verifica-se que municípios como Gravatá, de importante atividade turística, Jaquaritinga do Norte e Jataúba, na divisa com a Paraíba, e diversos municípios do centro-sul do Agreste são vulneráveis quanto à segurança hídrica da qualidade de água de seus mananciais.

Figura 34 - Vulnerabilidade à segurança hídrica quanto à qualidade da água dos mananciais dos municípios atendidos pelo SAAP



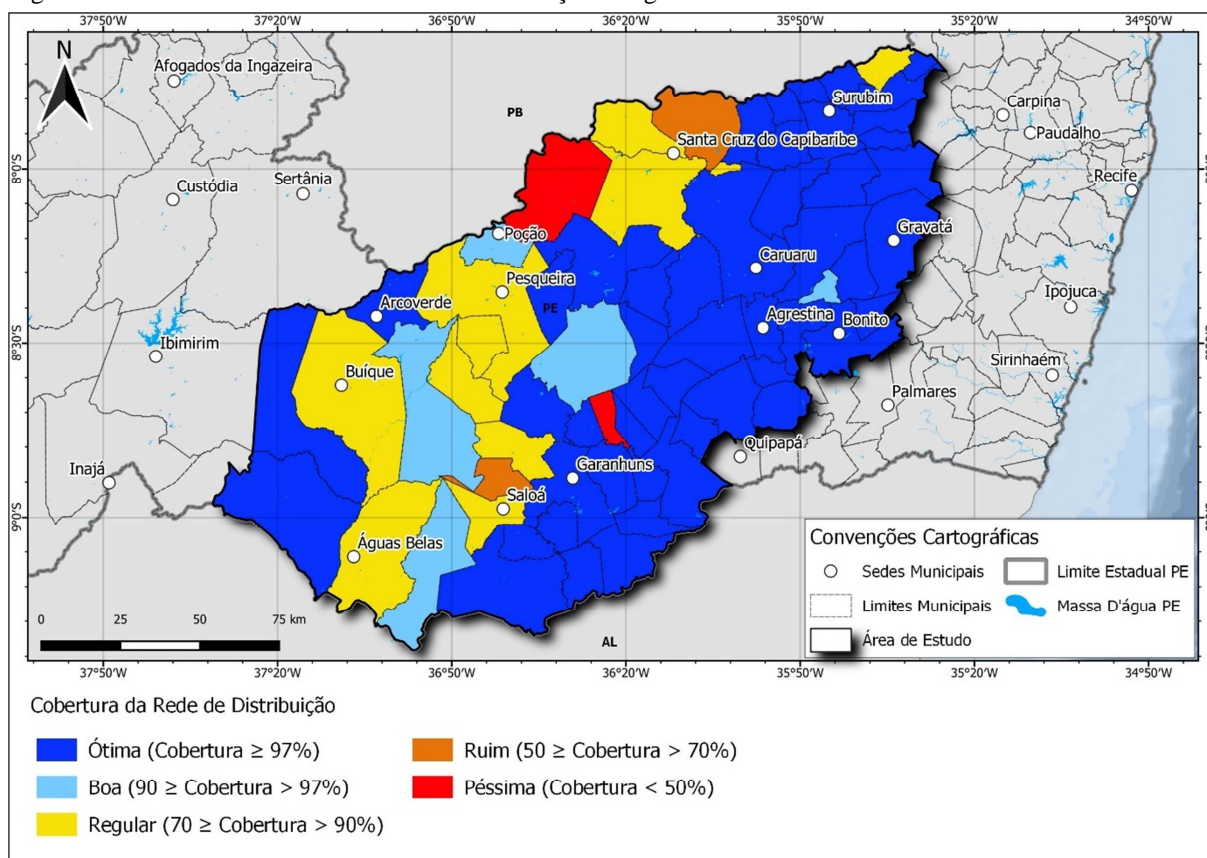
Fonte: O autor, 2023.

4.6.4. Cobertura do atendimento

O atendimento atual é entendido como a população atendida e correspondente índice de atendimento, obtidos da análise do PERH/PE (SEINFRA-PE, 2022) e do Atlas Águas (ANA, 2021), que tiveram por base as informações de 2019 (SNIS, imensa maioria) e 2017 (PNSB). O respectivo déficit se dá pela população não atendida (déficit absoluto) e índice (%) de não atendimento relativos a estes mesmos anos considerados.

A Tabela e a Figura 35 apresentam o índice de cobertura de atendimento da população urbana dos municípios abastecidos pelo SAAP.

Figura 35 – Índice de cobertura da rede de distribuição de água



Fonte: O autor, 2023.

4.6.5. Desempenho técnico do gerenciamento das perdas de água dos municípios

As perdas de água nos sistemas de abastecimento são fenômenos complexos. Para começar a decifrar esta complexidade, em primeiro lugar, deve-se distinguir as perdas quanto à sua natureza, reais ou aparentes. Entende-se como perdas reais a água que entra no sistema, mas não chega a passar pelo medidor do usuário – são os vazamentos em reservatórios, redes e ramais, reportados ou não reportados – neste último caso podendo ser inerentes ou detectáveis. Já com as perdas aparentes, a água é distribuída para o usuário, mas não chega a ser registrada pela entidade operadora do sistema: tipicamente, constituem-se por submedição, fraudes e clandestinos.

Assim, quando ocorrem perdas reais, a infraestrutura do sistema de abastecimento falhou, deixou de cumprir a função para o qual foi concebida; já quando ocorrem perdas aparentes, não se trata de uma falha na infraestrutura, mas sim do aparato de comercialização de serviços da entidade operadora.

No Atlas Águas (ANA, 2021), as perdas reais e aparentes foram estimadas adotando como referência conceitual o balanço hídrico de massas da International Water Association (IWA), ajustado para a utilização de dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS). O principal indicador de desempenho da rede de distribuição de água, derivado do balanço de massas, é o **Índice de Vazamentos da Infraestrutura (IVI)**. Basicamente, o IVI compara as **Perdas Reais Anuais Correntes – PRAC** (m³/ano), que correspondem ao volume perdido em vazamentos ao longo de 1 ano (calculado pela fórmula: PRAC = Volume de Entrada – Consumo Autorizado – Perdas Aparentes, incluindo os volumes perdidos em vazamentos indetectáveis pelos métodos de detecção acústica (chamados “inerentes”) e os vazamentos detectáveis não aflorantes (não visíveis ou não reportados) ou que afloram (visíveis)), com as **Perdas Reais Anuais Inevitáveis – PRAI** (m³/ano), calculadas por meio de uma fórmula empírica para um sistema de referência da IWA, com boa infraestrutura e excelente gestão de vazamentos, que é função de parâmetros como: extensão de redes, quantidade de ligações, pressão média do sistema e tempo médio de abastecimento diário. O IVI, calculado pela fórmula $IVI = PRAC/PRAI$, pode ser considerado, portanto, o indicador mais adequado para comparar o desempenho de diferentes infraestruturas, representando quantas vezes a performance técnica de gerenciamento de perdas d’água da infraestrutura do sistema distribuidor avaliado é pior que a infraestrutura de referência da IWA.

Por meio do IVI, pode-se classificar o desempenho técnico da rede de distribuição de água nas categorias de performance técnica no gerenciamento de perdas propostas pelo Banco Mundial, que se dividem em A1, A2, B, C e D, conforme estabelecido no Quadro 5.

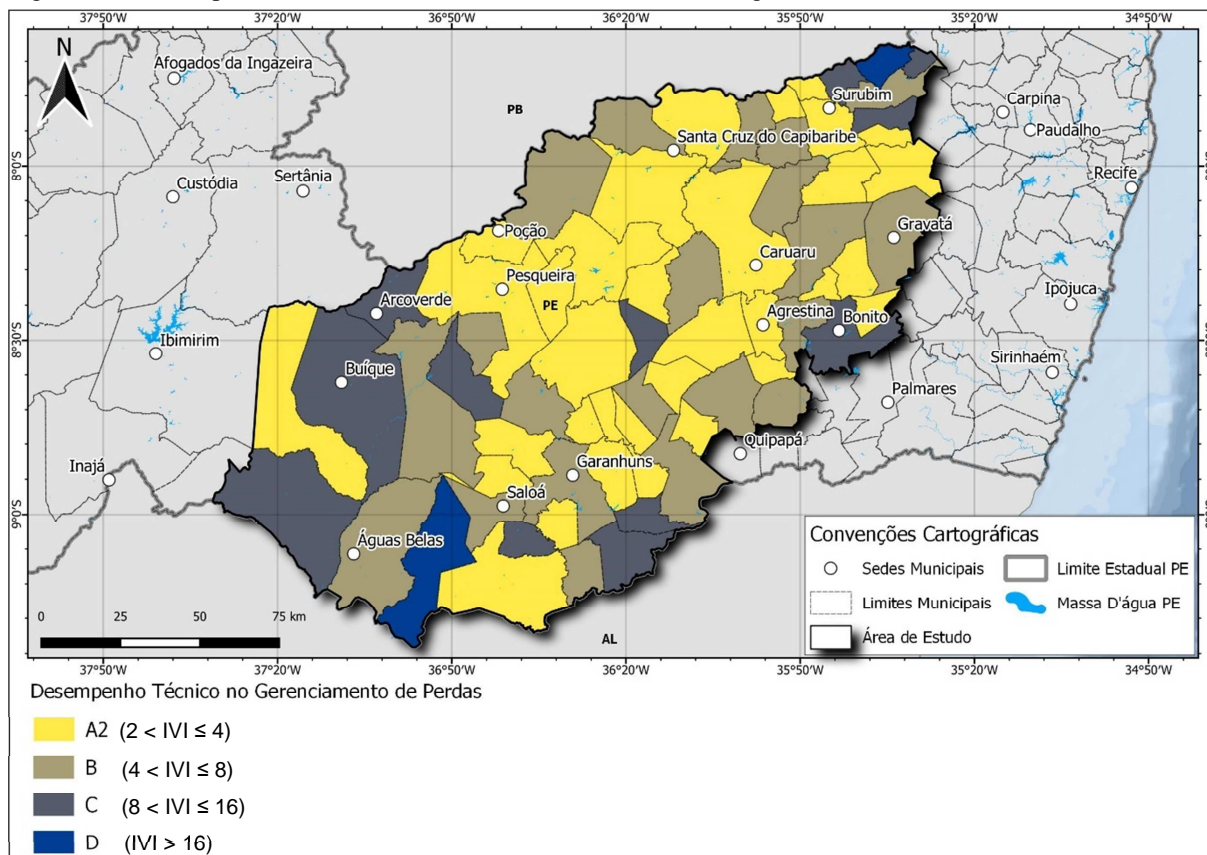
Quadro 5 – Categorias de performance técnica do gerenciamento de perdas de água

| | |
|----|--|
| A1 | Performance de classe mundial em gerenciamento de vazamentos. Somente reduções marginais adicionais são teoricamente possíveis; IVI menor que 2. |
| A2 | Redução adicional de perda pode não ser econômica, ao menos que haja insuficiência de abastecimento; são necessárias análises mais criteriosas para identificar o custo de melhoria efetiva; IVI entre 2 e 4. |
| B | Potencial para melhorias significativas; considerar o gerenciamento de pressão; práticas melhores de controle ativo de vazamentos, e uma melhor manutenção da rede; IVI entre 4 e 8. |
| C | Registro deficiente de vazamentos; tolerável somente se a água é abundante e barata; mesmo assim, analise o nível e a natureza dos vazamentos e intensifique os esforços para redução de vazamentos; IVI entre 8 e 16. |
| D | Uso muito ineficiente dos recursos; programa de redução de vazamentos é imperativo e altamente prioritário. IVI maior que 16 |

Fonte: ANA, 2021.

A Tabela e a Figura 36 apresentam o desempenho técnico no gerenciamento de perdas de água nos municípios atendidos pelo SAAP.

Figura 36 – Desempenho Técnico do Gerenciamento das Perdas de Água



Fonte: O autor, 2023.

Verifica-se, através da Figura 36, que grande parte dos municípios abastecidos pelo SAAP possuem um bom desempenho técnico no gerenciamento de perdas (A2), com 33 municípios, ou 47,8 % do total, destacando-se dentre eles Caruaru, Pesqueira e Agrestina. Um total de 22 municípios, ou 31,9% do total, possuem desempenho técnico regular no gerenciamento de perdas (B), dentre eles Águas Belas, Garanhuns, Gravatá e Saloá. Com um desempenho considerado ruim (C), há um total de 12 municípios (17,4%) avaliados na região, dentre os quais: Arcoverde, Bonito e Correntes. Por fim, um péssimo desempenho técnico no gerenciamento de perdas foi constatado apenas em dois municípios (2,9% do total): Iati e Orobó.

4.6.6. Estimativas de investimentos em sistemas de distribuição de água nos municípios

O Atlas Águas (ANA, 2021) procedeu à avaliação dos investimentos para ampliação e reposição dos sistemas de distribuição de água de todos os 5.570 municípios do Brasil até 2035.

Essa avaliação levou em conta que os custos de algumas regiões são mais elevados que outras, tendo em vista diversas peculiaridades de cada estado e região, onde serão realizados os investimentos, tais como: Complexidade das Obras, Qualidade das Obras, Área Pavimentada, Tipo de Material, dentre outras.

Essa avaliação teve por base levantamentos de estudos referenciais para identificação de parâmetros de custos de reservação e distribuição. Os investimentos necessários foram projetados ao longo do horizonte considerado, para o ano de 2035, tendo em vista o estabelecimento de metas progressivas de atendimento, mas também as particularidades das obras de reservação.

É importante destacar que os investimentos em distribuição foram avaliados em três áreas: Reservação, Rede de Distribuição e Ligações Prediais. A seguir, são detalhados os investimentos para cada uma dessas áreas.

4.6.6.1. Investimentos em reservação

As unidades de reservação correspondem a obras civis que apresentam elevados custos de implantação, sendo que esses custos, por m³ de reservação, vão sendo reduzidos, com o aumento dos volumes a serem armazenados (economia de escala). Por exemplo, a implantação de um reservatório de 2.000 m³ apresenta custo inferior ao de implantação de dois reservatórios de 1.000 m³ cada, seja em função da quantidade de material utilizado nos reservatórios, seja em decorrência da maior quantidade de peças e caixas para os barriletes de entrada e de saída, incluindo equipamentos de controles de vazão, dentre outros. Outra questão importante se refere aos custos operacionais, que também são reduzidos com a diminuição do número de unidades de reservação em uma mesma área.

Os dados de reservação nos municípios foram obtidos com base em um levantamento, junto aos prestadores de serviços, dos quantitativos existentes de reservação, por município, para o ano de 2019, agregando-se ainda informações existentes da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2017 (PNSB) quando não foi possível obter informações junto aos prestadores de serviços.

A partir dessas informações, foram obtidos os volumes de reservação necessários para o município no ano 2020, para o atendimento de 100% da população urbana em cada município e levou-se em conta nas estimativas de investimentos do Atlas Águas que em 2020 deverá ser implantada a reservação para atendimento da população de 2035.

Os investimentos totais para a ampliação de reservação nos municípios atendidos pelos SAAP chegam a cerca de R\$ 43,4 milhões, já quando se observa o investimento per capita, o valor é de R\$ 21,39/habitante, levando em consideração o atendimento da população de 2035.

4.6.6.2. Investimentos para Ampliação da Redes de Distribuição e Ligações Domiciliares

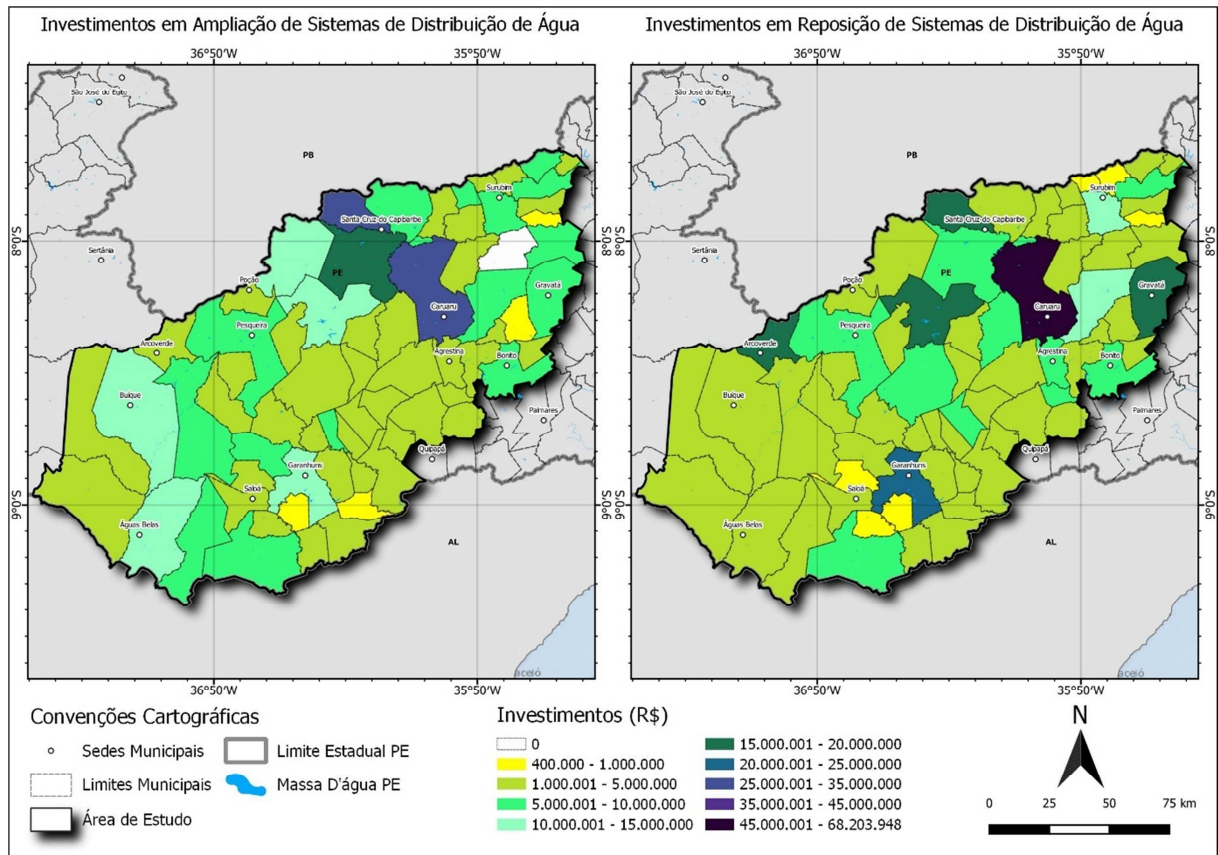
Os investimentos para ampliação das redes de distribuição e ligações domiciliares foram calculados considerando que a implantação de redes e das ligações em 2020 é para o atendimento da população urbana em 2025 (meta inicial proposta no Atlas Águas), para o atendimento da população de 2030 serão realizadas implementações de redes e ligações no ano de 2025 (segunda meta proposta) e para atendimento da população de 2035 serão implantadas redes e ligações em 2030, e com isso se chega ao atendimento de 100% da população urbana no ano de 2035.

4.6.6.3. Reposição do sistema de distribuição

Considerou-se no Atlas Águas um custo de reposição correspondente a 2% ao ano do valor da infraestrutura de distribuição existente no final de cada período, totalizando o montante requerido para que os sistemas de abastecimento de água estejam satisfatórios, operem com menos riscos e maior qualidade operacional e, portanto, atendam adequadamente à população das sedes urbanas e incrementem a segurança hídrica.

A Figura 37 apresenta os valores dos custos para ampliação e reposição dos sistemas de distribuição de água nos municípios até o ano de 2033. No Gráfico 6 e apresentada a proporção desses investimentos com relação ao tipo: em reservação, rede de distribuição e ligações domiciliares.

Figura 37 – Custos para ampliação e renovação dos sistemas de distribuição de água nos municípios



Fonte: O autor, 2023.

Gráfico 6 – Proporção de investimentos para ampliação e renovação dos sistemas de distribuição de água nos municípios



Fonte: O autor, 2023.

5 METODOLOGIA DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO

5.1. Abordagem metodológica

A abordagem metodológica adotada é a de uma pesquisa quantitativa, aplicada e explicativa, conforme detalhado a seguir.

Se recorre a uma linguagem matemática para avaliar um fenômeno, tomando por base um modelo matemático de análise, utilizando procedimentos estruturados e instrumentos formais para a coleta de dados, efetuando por fim uma análise objetiva dos resultados, o que caracteriza uma pesquisa quantitativa.

A pesquisa objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigida à solução de problemas específicos, no caso para a avaliação e otimização do planejamento de implantação das obras da 2ª Etapa do SAAP, caracterizando-se, portanto, em uma pesquisa aplicada.

Por fim, o autor da pesquisa se preocupa em identificar os fatores que contribuíram para a ocorrência dos fenômenos apresentados, ou seja, as razões que levaram aos resultados obtidos na pesquisa. Tais características são a base de uma pesquisa explicativa.

5.2. Definição do Método de Suporte à Decisão a ser aplicado

Para a presente dissertação, foi definida a aplicação do método de auxílio multicritério à decisão denominado Método de Análise Hierárquica (AHP), por ser de fácil utilização e permitir a programação em planilha eletrônica. Adicionalmente, com o aperfeiçoamento da metodologia na determinação dos critérios, subcritérios e faixas de classificação, a planilha pode ser mais facilmente adaptada.

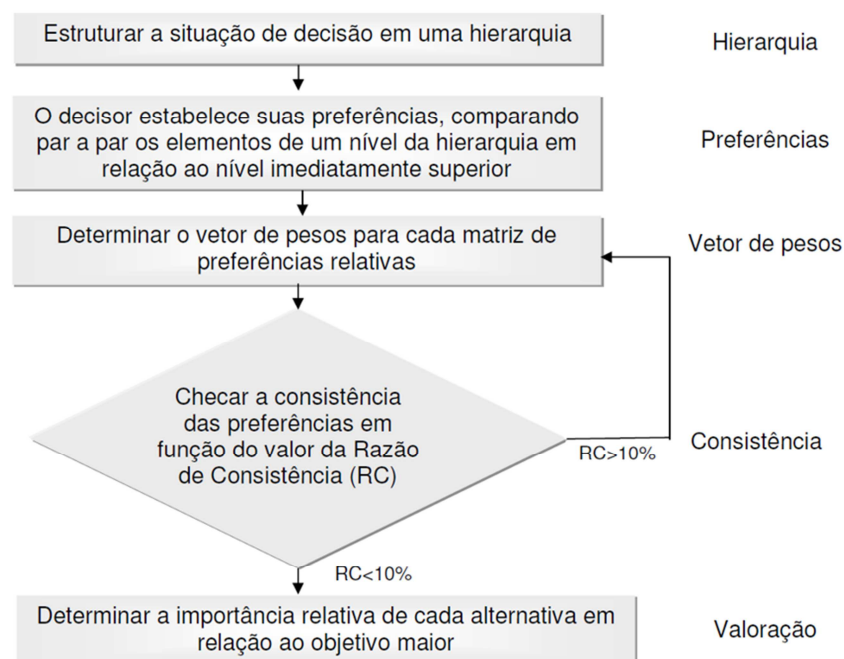
O AHP constitui-se em uma técnica de auxílio multicritério à decisão desenvolvida por Thomas L. Saaty (1991), utilizada na definição de prioridades e na escolha da melhor alternativa, podendo ser considerados aspectos quantitativos e qualitativos. O mesmo autor cita sua adoção em estudos na área de administração pública, para a alocação de recursos em projetos, aplicações militares e políticas, entre outras (Saaty, 2008). Os passos a serem trilhados para a aplicação do método baseiam-se em:

- a) definir o problema e determinar o tipo de conhecimento pretendido;
- b) estruturar uma hierarquia;
- c) construir um conjunto de matrizes de comparação paritária;
- d) determinar a consistência dos julgamentos.

O método AHP reduz decisões complexas dentro de uma série de comparações simples (Pairwise Comparisons) entre elementos da hierarquia de decisão. Pela síntese dos resultados destas comparações, o AHP pode ajudar a chegar à melhor solução e prover uma clara razão para a escolha feita, sendo uma ferramenta muito útil por ser uma boa medida da hierarquia dos princípios, critérios, indicadores e verificadores (MENDOZA et al., 1999)

Ele aborda a tomada de decisão arranjando os componentes importantes de um problema dentro de uma estrutura hierárquica similar a uma árvore genealógica (GOMES e MOREIRA, 1998). A Figura 38 apresenta um fluxograma do funcionamento geral do método.

Figura 38 – Fluxograma Geral do Método AHP



Fonte: SCHMIDT, 1995.

Este procedimento representa e quantifica assim as variáveis envolvidas em uma hierarquia de critérios ponderados por preferência. O resultado permite então analisar e comparar rapidamente as alternativas, de forma a se obter uma priorização, ou hierarquização, daquelas mais vantajosas com relação aos múltiplos critérios estabelecidos.

5.3. Aplicação do Sistema de Suporte à Decisão e Metodologia para Priorização de Implantação dos Trechos da 2ª Etapa do SAAP

O estabelecimento de eficazes políticas de planejamento para implantação e operação de infraestruturas complexas de recursos hídricos tem se tornado uma tarefa difícil, devido aos diversos fatores envolvidos, como a vulnerabilidade dos mananciais existentes, a qualidade e cobertura do atendimento às populações e os custos envolvidos na implantação das obras.

Normalmente, os estudos de alternativas para o planejamento em sistemas de recursos hídricos são comumente feitos através de aplicação de complexas metodologias matemáticas e computacionais, incluindo técnicas de otimização e simulação. Existem vários modelos que podem ser utilizados na análise de priorização das alternativas de implantação das infraestruturas.

A escolha de uma metodologia a ser aplicada depende de vários fatores, dentre eles:

- a) A configuração do sistema;
- b) Os objetivos de uso dos recursos hídricos e
- c) O estágio da aplicação (planejamento, projeto ou operação).

Como etapa inicial para a realização das atividades propostas, foi realizada uma busca ativa de informações de planejamento de recursos hídricos da região do estudo, notadamente das disponibilidades hídricas e vulnerabilidade dos mananciais que atendem o Sistema Adutor do Agreste.

Para fazer o planejamento mais adequado e socialmente responsável, fez-se uso de uma metodologia que integrasse diversos critérios para a avaliação da ordem de priorização, ou hierarquização, dos trechos a serem implantados na 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste, permitindo assim a otimização da utilização dos recursos financeiros que estejam disponíveis, com intuito de subsidiar a tomada de decisão para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos.

A proposição de critérios para priorização da implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP compõe uma etapa estruturante da elaboração deste documento. A definição de prioridades possibilita uma clara estratégia de atuação, que passa pela identificação das criticidades temáticas e espaciais, da necessidade de atuação e das ações a serem implementadas.

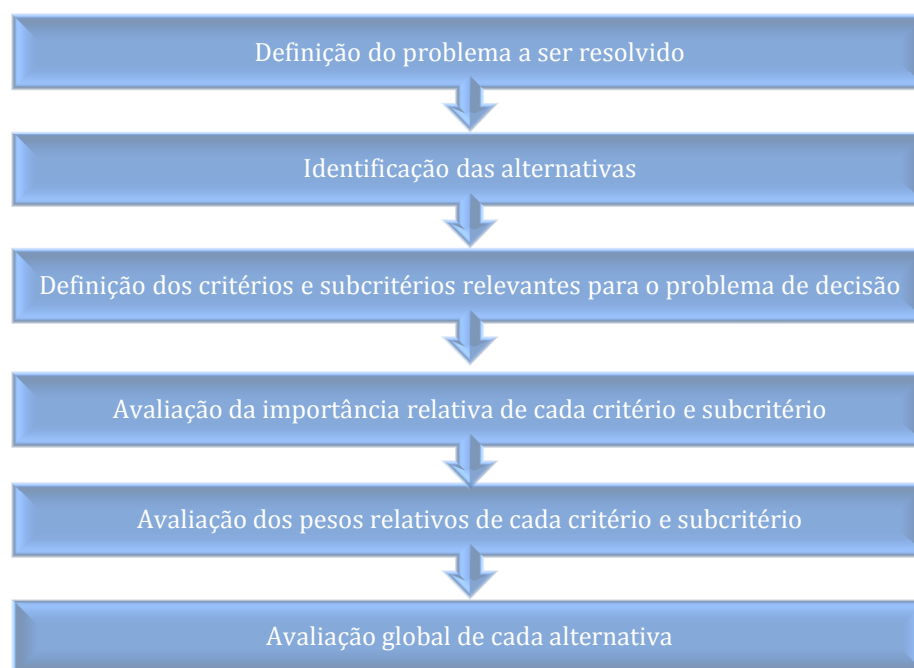
5.3.1. Análise multicritério – Analytic Hierarchy Process (AHP)

Nesse estudo será utilizado o Método Analítico Hierárquico (Analytic Hierarchy Process - A.H.P), que é um método que auxilia na tomada de decisão, desenvolvido na década de 1970 pelo professor Thomas Saaty. Ele consiste em um dos métodos mais reconhecidos cientificamente para auxílio à decisão sob múltiplos critérios.

Primeiramente, os elementos de um problema são decompostos em uma hierarquia. Em seguida, efetuam-se as comparações binárias entre elementos de um nível em relação ao critério do nível superior. Estas comparações determinaram as prioridades locais e, finalmente, devido à síntese, as prioridades globais. Em seguida, faz-se a avaliação da coerência e do tratado de interdependência.

É possível descrever os passos do Método Analítico Hierárquico nas etapas apresentadas na Figura 39.

Figura 39 - Etapas Metodológicas para o Método AHP



Fonte: SAATY, 1990.

Este método é indicado para a avaliação de problemas multicritérios, é amplamente utilizado em combinação com Sistemas de Informações Geográficas e vem se mostrando uma ferramenta eficiente para a solução de problemas de planejamento. Ao mesmo tempo que o método possui a capacidade de combinar dados espaciais, permite a descrição e análise das

suas iterações, permitindo reduzir as ambiguidades das interpretações que normalmente são obtidas através da análise individual dos critérios envolvidos.

5.4. Definição do problema a ser resolvido

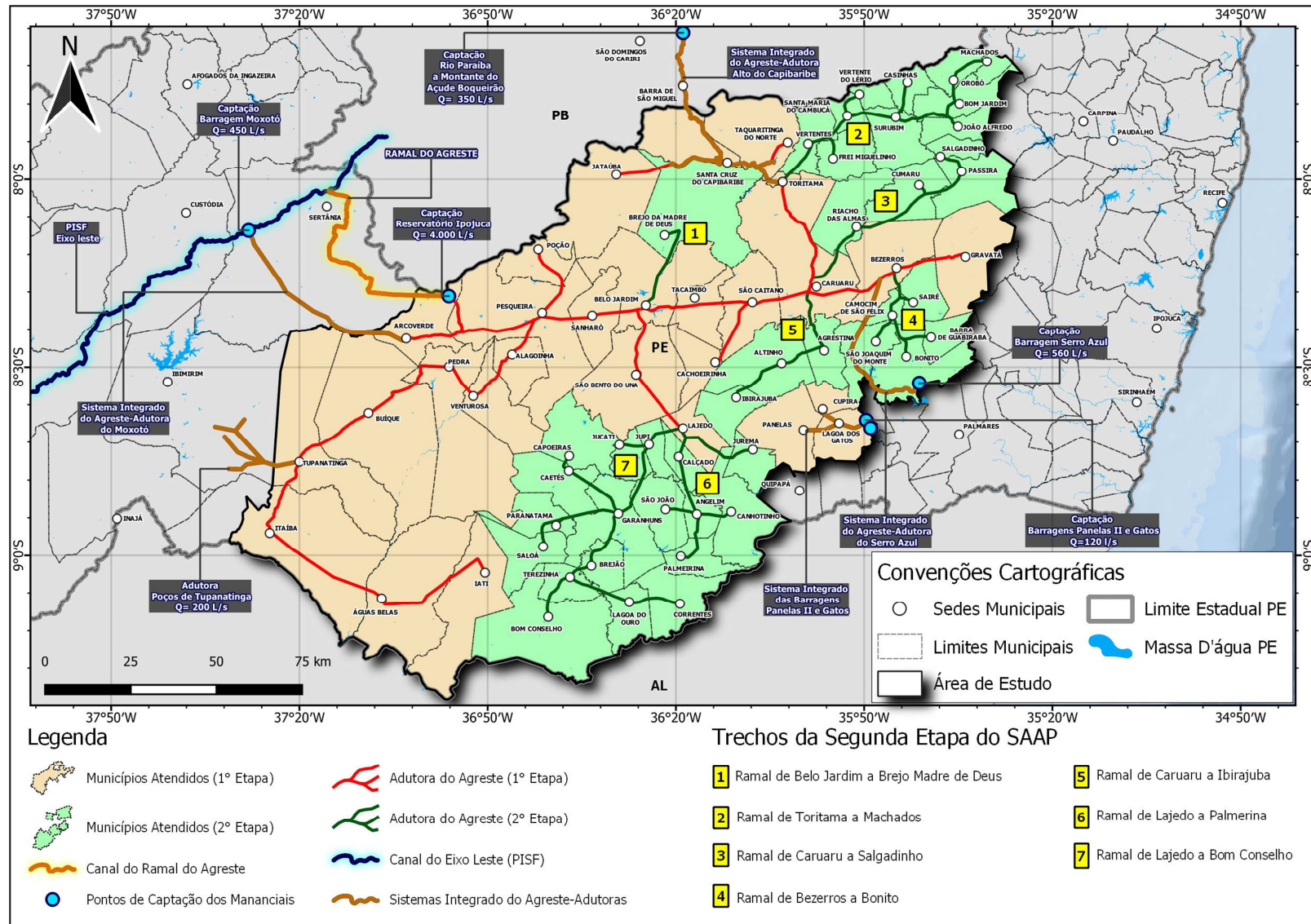
O problema a ser resolvido, conforme anteriormente destacado, é o da priorização da implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP, para dar suporte ao planejamento global de implantação dessa infraestrutura, fundamental para a segurança hídrica dos municípios do Agreste Pernambucano.

5.5. Identificação das alternativas

As alternativas a serem avaliadas e priorizadas são aquelas relativas à implantação de cada um dos distintos trechos da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano.

Na Figura 40 é apresentado o recorte dos sete trechos a serem implantados, com a identificação dos municípios a serem por eles atendidos. Os traçados das adutoras foram consolidados quando da elaboração do Projeto Básico do Sistema Adutor do Agreste no Estado de Pernambuco (COMPESA, 2012), no qual avaliadas, entre outras, as questões relativas ao relevo, que influenciam diretamente nos custos de energia ao longo de toda operação do sistema, bem como aquelas relativas aos custos de escavação, em diferentes alternativas de percursos por terrenos com características distintas.

Figura 40 – Trechos da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano



Fonte: O autor, 2023.

Os investimentos relacionados à implantação de cada um dos sete trechos da 2ª Etapa do SAAP foram obtidos a partir dos orçamentos disponíveis no Projeto Básico do Sistema Adutor do Agreste no Estado de Pernambuco (COMPESA, 2012) e atualizados pela variação do INCC – Índice Nacional de Custo da Construção (FGV, 2022), da data base de Dezembro/2012 até Junho/2022. Os resultados são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11– Investimentos para implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP

| TRECHO | NOME | INVESTIMENTO PREVISTO (R\$) |
|--------|--|-----------------------------|
| 1 | Ramal de Belo Jardim a Brejo Madre de Deus | 82.937.046,99 |
| 2 | Ramal de Toritama a Machados | 286.292.977,46 |
| 3 | Ramal de Caruaru a Salgadinho | 115.773.263,65 |
| 4 | Ramal de Bezerros a Bonito | 156.972.843,24 |
| 5 | Ramal de Caruaru a Ibirajuba | 142.893.194,87 |
| 6 | Ramal de Lajedo a Palmerina | 238.366.197,69 |
| 7 | Ramal de Lajedo a Bom Conselho | 532.711.144,19 |

Fonte: O autor, 2023.

5.6. Definição dos critérios e subcritérios relevantes para a tomada de decisão

Os critérios, também entendidos como fatores, dimensões ou variáveis, definem o grau de adequação da área ao objetivo do estudo. No caso específico deste estudo, eles subsidiaram a definição dos trechos do sistema adutor a serem implantados. Os valores dos fatores individuais podem tanto realçar (com valores altos) ou depreciar (com valores baixos) o potencial de um determinado trecho.

Independentemente do método utilizado para agregar os critérios, eles costumemente são padronizados para uma escala comum, no presente estudo definida de 1 a 100, que permite a sua comparação e combinação entre si. Os fatores podem ser padronizados de diversas formas dependendo dos critérios individuais e da forma de agregação utilizada.

Para se definir os critérios e subcritérios relevantes para a tomada de decisão, levou-se em conta questões como a necessidade de universalização do acesso à água e ao saneamento, como um direito humano; a segurança hídrica, em especial a água para o abastecimento humano, tanto na produção de água tratada, quanto na sua distribuição; a preservação dos

ecossistemas, evitando-se o consumo de água proveniente de fontes contaminadas; a melhoria no gerenciamento das perdas de água, em um país que conta com altas taxas de perdas por vazamentos ou ligações clandestinas (ANA, 2021); a questão saúde e da educação, uma vez que baixas taxas de saneamento e má distribuição de água têm correlação direta com a transmissão de doenças de veiculação hídrica, expondo os indivíduos a riscos de saúde evitáveis (SEINFRA-PE, 2022). O acesso à água potável pode ainda resultar em redução na mortalidade infantil, melhorias na saúde da população e no aumento da frequência escolar, reduzindo-se assim o analfabetismo.

Nesse contexto, garantir a disponibilidade de água em quantidade e qualidade suficientes para o atendimento às populações como prioridade e, ao mesmo tempo, viabilizar a prática das atividades econômicas, promovendo o desenvolvimento humano e melhorias na saúde e na educação, além de cuidar da conservação dos ecossistemas aquáticos e otimizar a aplicação dos recursos financeiros disponíveis para a implantação dos sistemas de produção e distribuição de água, levaram à seleção de critérios e subcritérios, aqui transformados nas dimensões e variáveis apresentadas no

Quadro 6, para a aplicação na avaliação multicritério do sistema de tomada de decisão.

Esta seleção de uma ampla gama de critérios e subcritérios, formados por cinco dimensões e quinze variáveis, foi realizada em conjunto pelo autor e seus orientadores, apoiando-se em resultados de trabalhos relacionados à mesma temática desta dissertação, tais como Vilas Boas (2006), ANA (2019), Lafayette (2022), MDR (2022) e BID (2022).

Quadro 6 – Dimensões, variáveis, indicadores e bases de dados selecionados para a avaliação multicritério

| DIMENSÃO | VARIÁVEL | INDICADOR | BASE DE DADOS |
|-------------------------------|--|--|--------------------------------------|
| DESENVOLVIMENTO HUMANO | Desenvolvimento Humano | IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal FIRJAN | SEINFRA-PE, 2022 |
| | Concentração de Renda | Índice de Gini | SEINFRA-PE, 2022 |
| | Pobreza | Índice de Pobreza Humana (proporção de vulneráveis à pobreza, pobres e extremamente pobres) (%) | SEINFRA-PE, 2022 |
| EDUCAÇÃO E SAÚDE | Analfabetismo | Taxa de analfabetismo da população com 15 anos de idade ou mais (%) | SEINFRA-PE, 2022 |
| | Mortalidade Infantil | Taxa de mortalidade infantil (%) | SEINFRA-PE, 2022 |
| | Doenças de Veiculação Hídrica | Priorização de combate a doenças de veiculação hídrica | SEINFRA-PE, 2022 |
| FINANCEIRA | Investimentos na implantação da 2ª Etapa do SAAP | Custo do trecho por habitante da população urbana a ser atendida em 2035 (R\$/hab) | COMPESA, 2012 (atualizado para 2022) |
| | Investimentos em Ampliação dos Sistemas de Distribuição de Água | Custo de ampliação do sistema de distribuição de água por habitante da população urbana a ser atendida em 2035 (R\$/hab) | ANA, 2021 |
| | Investimentos em Reposição dos Sistemas de Distribuição de Água | Custo de reposição do sistema de distribuição de água por habitante da população urbana a ser atendida em 2035 (R\$/hab) | ANA, 2021 |
| HÍDRICA | Segurança Hídrica das Cidades | Índice de vulnerabilidade quantitativo dos mananciais e sistemas de produção de água | ANA, 2021 |
| | Performance Técnica do Gerenciamento de Perdas de Água | Categoria de performance técnica do gerenciamento de perdas de água | ANA, 2021 |
| | Atendimento do Sistema de Abastecimento de Água à População Urbana | Taxa de cobertura da rede de distribuição urbana de água (%) | SEINFRA-PE, 2022 |
| ECOSSISTÊMICA | Qualidade da água nos mananciais que abastecem os municípios | Indicador de vulnerabilidade da qualidade de água dos mananciais | ANA, 2021 |
| | Atendimento do Sistema de Esgotamento Sanitário à População urbana | Taxa de cobertura da rede urbana de esgotamento sanitário (%) | SEINFRA-PE, 2022 |
| | Atendimento do Sistema de Drenagem Urbana | Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana (%) | SNIS, 2020 |

Fonte: O autor, 2023.

A variável relacionada ao tratamento do esgoto sanitário coletado, prevista originalmente para inclusão na seleção de variáveis da dimensão ecossistêmica, se mostrou de pouco valor para uma avaliação multicritério entre os trechos, uma vez que apenas Garanhuns, dentre os 41 municípios atendidos pela 2ª Etapa do SAAP, dispõe de sistema de tratamento do esgoto coletado.

Para algumas variáveis não numéricas, relacionadas às dimensões hídrica e ecossistêmica, foram criadas classes de segurança hídrica no Atlas Águas (ANA, 2021), atribuindo valores de 1 a 5 para estas variáveis, sendo 1 o valor atribuído para o caso mais desfavorável em relação à segurança do sistema e 5 o valor para o caso mais favorável, conforme apresentado no Quadro 7, Quadro 8 e Quadro 9.

Quadro 7 - Valores atribuídos para as classes de vulnerabilidade quantitativa do manancial e sistema de produção

| Manancial/Sistema de Produção | Valor |
|---|--------------|
| Manancial Não Vulnerável com Sistema Satisfatório | 5 |
| Manancial Não Vulnerável com Ampliação do sistema | 4 |
| Manancial Não Vulnerável com Adequação do Sistema | 4 |
| Manancial com Baixa Vulnerabilidade | 3 |
| Manancial com Média Vulnerabilidade | 2 |
| Manancial com Alta Vulnerabilidade | 1 |

Fonte: ANA, 2021.

Quadro 8 - Valores atribuídos para as classes de vulnerabilidade da qualidade de água do manancial

| Manancial/Sistema de Produção | Valor |
|--------------------------------------|--------------|
| Manancial Não Vulnerável | 5 |
| Manancial Vulnerável | 1 |

Fonte: ANA, 2021.

Quadro 9 - Valores atribuídos para as classes de desempenho técnico dos prestadores de serviços no gerenciamento de perdas

| Desempenho Técnico no Gerenciamento de Perdas | Valor |
|--|--------------|
| A1 | 5 |
| A2 | 4 |
| B | 3 |
| C | 2 |
| D | 1 |

Fonte: ANA, 2021.

Aplicou-se no presente estudo o mesmo critério para a atribuição de valores aos municípios com priorização de combate a doenças de veiculação hídrica, conforme apresentado no Quadro 10.

Quadro 10 - Valores atribuídos para as classes de priorização de combate a doenças de veiculação hídrica

| Priorização de combate a doenças de veiculação hídrica | Valor |
|---|-------|
| Município sem priorização de combate a doenças de veiculação hídrica | 5 |
| Município com priorização de combate a uma doença de veiculação hídrica | 3 |
| Município com priorização de combate a duas ou mais doenças de veiculação hídrica | 1 |

Fonte: O autor, 2023.

Os valores das variáveis são posteriormente padronizados em uma escala comum adimensional (0 para os mínimos – menor prioridade e 100 para os máximos – maior prioridade), permitindo a sua comparação e combinação entre si, mantendo sua condição numérica. Essa padronização é obtida a partir da aplicação de uma regra de matemática linear convencional, representada na Equação 2.

$$VP_x = \frac{V_x - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} * (100 - 0) \quad (2)$$

Onde: VP_x é o valor padronizado da variável, V_x é o valor da variável sem transformação e V_{\min} e V_{\max} são os valores mínimo e máximo da variável sem transformação, respectivamente.

No caso de variáveis em que se deseja que os maiores valores padronizados sejam atribuídos aos menores valores das variáveis sem transformação, como é o caso das variáveis da dimensão Financeira (p. ex. quanto menores os investimentos por habitante, maior deve ser a prioridade de sua aplicação), o valor padronizado da variável (VP_x) deverá ser calculado através da Equação 3.

$$VP_x = 100 - \frac{V_x - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} * (100 - 0) \quad (3)$$

5.7. Avaliação da importância relativa de cada critério e subcritério (par a par)

Para a aplicação do processo, e conforme definido anteriormente, os elementos de um problema são decompostos em dimensões, que por sua vez são divididas em variáveis, como demonstrado no

Quadro 6. Após a decomposição, são efetuadas comparações “par a par entre as dimensões e entre as variáveis de cada dimensão para definir os pesos em função de sua relevância para o projeto.

Assim, conforme Saaty (2008), no Método AHP, os diferentes critérios são comparados par a par e um valor de importância relativa é atribuído aos pares, segundo uma escala que varia de 1/9 a 9, sendo que 1/9 significa que um critério é extremamente menos importante em relação a outro, 1 indica a indiferença de importância, e 9 significa a extrema importância de um critério sobre outro, conforme ilustra o Quadro 11 (SAATY, 2008).

Quadro 11 - Escala de importância relativa entre os fatores.

| 1/9 | 1/7 | 1/5 | 1/3 | 1 | 3 | 5 | 7 | 9 |
|------------------|------------------|------------|-----------------------|------------|---------------|-----------------|------------------|--------------|
| Extremamente | Muito fortemente | Fortemente | Moderadamente | Igualmente | Moderadamente | Fortemente | Muito fortemente | Extremamente |
| Menos Importante | | | Igualmente Importante | | | Mais Importante | | |

Fonte: SATTY, 2008.

A escala também permite a adoção de valores intermediários para contemplar médias de respostas de diferentes participantes do método, ou mesmo uma simplificação da escala, tal como a apresentada no Quadro 12, que será utilizada nesta dissertação para a consulta, através de um formulário, de gestores e especialistas na área de gestão de recursos hídricos.

Quadro 12 – Escala adaptada de importância relativa entre os fatores.

| 1/7 | 1/3 | 1 | 3 | 7 |
|---|---|--|--|--|
| A variável A é muito menos significativa que a variável B | A variável A é menos significativa que a variável B | As variáveis são igualmente significativas | A variável A é mais significativa que a variável B | A variável A é muito mais significativa que a variável B |

Fonte: SATTY, 2008. Adaptada pelo autor, 2023.

A partir desta etapa, é desenvolvida uma matriz de comparação pareada com o resultado dos julgamentos, em que os elementos desta tabela correspondem à importância do critério da linha em relação ao critério da coluna.

O formato da matriz é exemplificado na

Figura 41. Nesse caso, analisando a metade triangular inferior esquerda da matriz, nota-se que a Variável 2 é menos significativa, ou menos relevante, que a Variável 1 (escala de Saaty igual a 3), a Variável 3 possui a mesma significância que a Variável 1 (escala de Saaty igual a 1), e a Variável 4 é fortemente menos significativa ou relevante que a Variável 1 (escala de Saaty igual a 1/7). As variáveis cruzadas entre si recebem o valor de 1 e a metade triangular superior direita é o inverso da metade inferior esquerda.

Figura 41– Exemplo de matriz de comparação pareada.

| Variáveis | V1 | V2 | V3 | V4 |
|-----------|-----|-----|----|----|
| V1 | 1 | 1/3 | 1 | 7 |
| V2 | 3 | 1 | 3 | 3 |
| V3 | 1 | 1/3 | 1 | 1 |
| V4 | 1/7 | 1/3 | 1 | 1 |

Fonte: SATTY, 2008. Adaptada pelo autor, 2023.

Conforme descrito em Saaty (2008), a partir da matriz elevada à potência de sua dimensão, calcula-se a soma dos valores de cada linha e divide-se pela soma total dos valores da matriz elevada, obtendo-se o peso de cada variável ou critério.

Considerando a Matriz de Saaty, o número de comparações para um número n de variáveis é calculado através da expressão $(n^2 - n)/2$, que desconsidera comparações repetidas (A em relação a B e B em relação a A) e comparações da variável em relação a si mesma (diagonal da matriz).

A última etapa do Método AHP consiste na verificação do grau de consistência (*Consistency Ratio* - CR) dos julgamentos realizados. O CR é determinado através da Equação 4.

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0,1 = 10\% \quad (4)$$

Onde:

CR = grau de consistência;

CI = índice de consistência; e

RI = índice de aleatoriedade.

Esta razão indica a probabilidade de os valores da matriz terem sido gerados ao acaso. Quanto mais próximos os resultados forem de zero, mais coerentes são os pesos de compensação adotados e maior é a confiabilidade do julgamento. Caso esse valor seja superior a 0,10 é necessário descartar os resultados e refazer os julgamentos para que a inconsistência seja minimizada (SAATY, 2008).

O índice de consistência (CI) é obtido a partir da Equação 3. Saaty (2008) comenta que para uma matriz ser consistente, o autovalor máximo deve ser igual ao número de fatores selecionados (n).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

Onde:

n = número de fatores utilizados; e
 $\lambda_{\text{máx}}$ = máximo autovalor da matriz.

O índice de aleatoriedade (RI), por sua vez, é tabelado a partir do número de fatores utilizados na análise, conforme mostrado na Tabela 12.

Tabela 12 - Exemplo de matriz de comparação pareada entre fatores

| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----|---|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0 | 0 | 0,58 | 0,9 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,49 |

Fonte: SAATY, 2008.

Considerando que a comparação direta das 15 variáveis entre si resultaria em mais de 105 comparações, as variáveis foram distribuídas nas Dimensões estabelecidas, para que fossem comparadas entre si, dentro de cada Dimensão, e após, ponderadas por um peso obtido na comparação entre as Dimensões. Assim, reduziu-se o processo para 25 comparações, sendo 15 entre as variáveis e 10 entre as cinco dimensões, conforme segue:

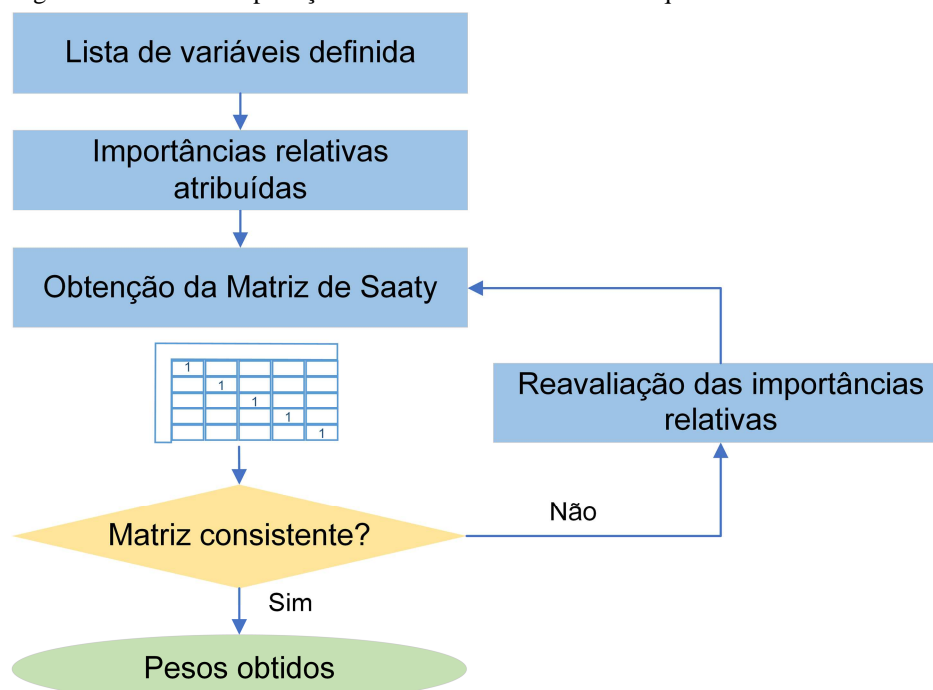
- Dimensão de Desenvolvimento Humano (3 variáveis): 3 comparações
- Dimensão de Educação e Saúde (3 variáveis): 3 comparações
- Dimensão Financeira (3 variáveis): 3 comparações
- Dimensão Hídrica (3 variáveis): 3 comparações
- Dimensão Ecológica (3 variáveis): 3 comparações
- Inter Dimensões (5 dimensões): 10 comparações

5.8. Avaliação dos pesos relativos de cada critério e subcritério

Os pesos relativos a cada critério e subcritério são calculados em função do grau de importância relativa entre cada um. O fluxo de aplicação do AHP, que consolida os passos descritos, está presente na

Figura 42.

Figura 42 – Fluxo de aplicação do Processo Analítico Hierárquico.



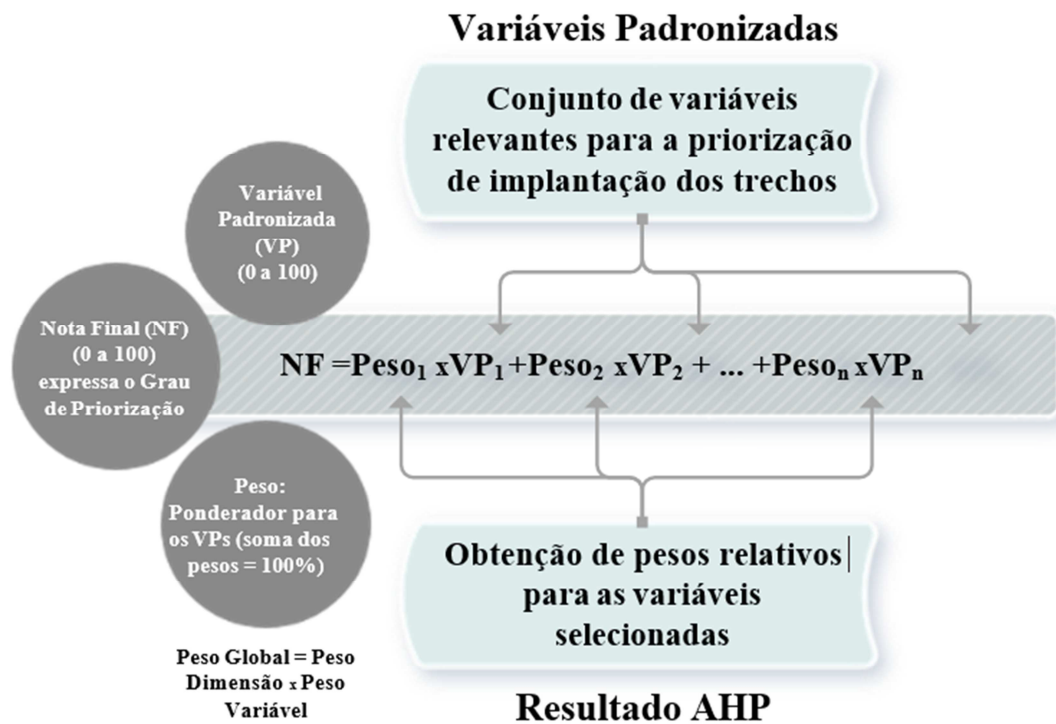
Fonte: MDR, 2022.

Como ferramenta de suporte para a aplicação deste método e visando uma avaliação mais rápida da consistência durante as comparações par a par das dimensões e variáveis, faz-se uso da plataforma online gratuita “Sistema Online AHP - AHP-OS”, disponibilizada no site <<https://bpmmsg.com/ahp>>, implementada através de estudos realizados por Goepel (2018). Esta ferramenta online pode conferir agilidade na aplicação do método, possibilitando a reavaliação dos critérios a partir do Grau de Consistência e adequação dos pesos atribuídos, gerando no final do processo uma planilha com os pesos calculados e as matrizes de Saaty consolidadas.

5.9. Avaliação global das alternativas

A partir da avaliação dos pesos relativos de cada critério e subcritério, procede-se à avaliação global das alternativas, pela multiplicação dos indicadores padronizados das variáveis pelos pesos estabelecidos, obtendo-se assim, como resultado da soma desses produtos, o valor final de cada alternativa, e, conseqüentemente, a definição das alternativas mais vantajosas e sua ordem de priorização, conforme apresentado na Figura 43.

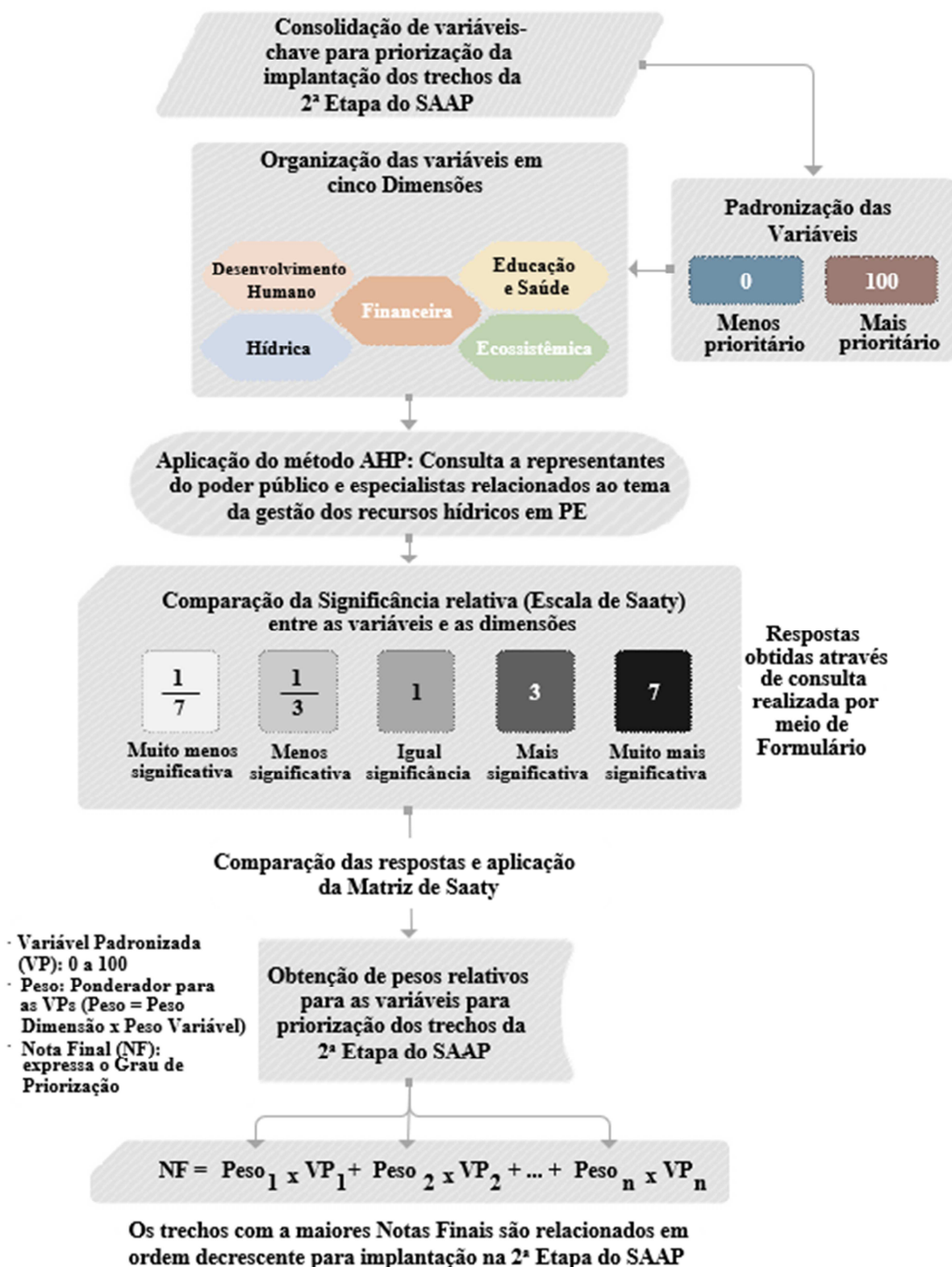
Figura 43 - Cálculo da Nota Final de priorização de implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP



Fonte: BID, 2022. Adaptada pelo autor, 2023.

A Figura 44 apresenta um resumo das etapas metodológicas anteriormente descritas.

Figura 44 - Resumo da metodologia para priorização de implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP



Fonte: BID, 2022. Adaptada pelo autor, 2023.

5.10. Aplicação de um formulário de consulta para aplicação do método AHP

O objetivo da consulta é a definição de pesos para as variáveis a serem integradas no modelo multicritério de decisão voltado à priorização de implantação dos trechos da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano (SAAP), considerando a percepção dos participantes, incluindo representantes do poder público e especialistas relacionados ao tema da gestão dos recursos hídricos no Estado de Pernambuco.

Com base na Escala Adaptada de Saaty (Quadro 12), para os pares de variáveis e dimensões, será feita a pergunta: “A variável A é _____ que a variável B?”, com as opções de respostas:

- a) Muito mais significativa;
- b) Mais significativa;
- c) Igual significância;
- d) Menos significativa;
- e) Muito menos significativa.

Na consulta através do formulário, serão realizadas 25 perguntas confrontando-se as variáveis ou dimensões aos pares (15 perguntas para as variáveis e 10 perguntas para os cruzamentos entre as dimensões), conforme discriminado no item 5.7.

A classificação permitirá a obtenção de pesos relativos entre as variáveis e dimensões. O peso da variável e da dimensão será aplicado sobre o valor padronizado das variáveis. Os valores obtidos para todas as variáveis serão somados em um número que compõe uma “nota final” do trecho da 2ª Etapa do SAAP, como representado na Figura 43.

Ao final da consulta, a hierarquização dos trechos da 2ª Etapa do SAAP será consolidada, com base nos pesos relativos para as variáveis selecionadas, definido pelo método AHP por meio das informações coletadas através do formulário.

O formulário de consulta é apresentado no Apêndice 1.

6 RESULTADOS

6.1. Comportamento das variáveis selecionadas

As Tabela 13 a Tabela 15 apresentam os resultados das variáveis médias ponderadas para cada um dos sete trechos da 2ª Etapa do SAAP. A ponderação das médias das variáveis foi realizada utilizando-se as populações urbanas estimadas em 2020 dos municípios abrangidos pelos trechos como ponderador, salvo para as variáveis da Dimensão Financeira, em que foram utilizadas como ponderador as populações urbanas projetadas para 2035, uma vez que os investimentos previstos foram estimados no Atlas Águas (ANA, 2021) para até 2035.

Tabela 13 – Resultados das variáveis para cada trecho da 2ª Etapa do SAAP nas Dimensões de Desenvolvimento Humano e Educação e Saúde

| VARIÁVEL : | DESENVOLVIMENTO HUMANO | | | EDUCAÇÃO E SAÚDE | | | |
|-------------|--|-----------------------|---|---|----------------------------------|--|-------|
| | Desenvolvimento Humano | Concentração de Renda | Pobreza | Analfabetismo | Mortalidade infantil | Doenças de Veiculação Hídrica | |
| INDICADOR : | IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal FIRJAN | Índice de Gini | Índice de Pobreza Humana (proporção de vulneráveis à pobreza, pobres e extremamente pobres) (%) | Taxa de analfabetismo da população com 15 anos de idade ou mais (%) | Taxa de mortalidade infantil (%) | Municípios prioritários para o enfrentamento a doenças de veiculação hídrica | |
| TRECHOS | 1- Ramal de Belo Jardim a Brejo Madre de Deus | 0,597 | 0,47 | 61,59 | 32,31 | 16,27 | 3 |
| | 2- Ramal de Toritama a Machados | 0,65 | 0,489 | 64,07 | 28,055 | 9,638 | 4,122 |
| | 3- Ramal de Caruaru a Salgadinho | 0,62 | 0,506 | 66,941 | 34,279 | 8,9 | 3 |
| | 4- Ramal de Bezerros a Bonito | 0,619 | 0,527 | 67,757 | 30,93 | 9,762 | 3 |
| | 5- Ramal de Caruaru a Ibirajuba | 0,608 | 0,491 | 64,477 | 33,665 | 11,802 | 3 |
| | 6- Ramal de Lajedo a Palmerina | 0,594 | 0,536 | 71,451 | 35,005 | 9,462 | 3 |
| | 7- Ramal de Lajedo a Bom Conselho | 0,639 | 0,569 | 62,675 | 27,561 | 15,617 | 3,775 |

Fonte: O autor, 2023.

Tabela 14 – Resultados das variáveis para cada trecho da 2ª Etapa do SAAP nas Dimensões Financeira e Hídrica

| VARIÁVEL : | | FINANCEIRA | | | HÍDRICA | | |
|-------------|---|--|--|--|--|---|--|
| | | Investimento na implantação da segunda etapa do sistema adutor do Agreste Pernambucano | Investimento na ampliação dos sistemas de distribuição de água | Investimento em reposição dos sistemas de distribuição de água | Segurança hídrica das cidades | Performance técnica do gerenciamento de perdas de água | Atendimento do sistema de abastecimento de água à população |
| INDICADOR : | | Custo do trecho por habitante da população urbana atendida em 2035 (R\$/hab) | Custo de ampliação do sistema de distribuição de água por habitante da população urbana atendida em 2035 (R\$/hab) | Custo de reposição do sistema de distribuição de água por habitante da população urbana atendida em 2035 (R\$/hab) | Índice de vulnerabilidade quantitativo dos mananciais e sistemas de produção de água | Categoria de performance técnica do gerenciamento de perdas de água | Taxa de cobertura da rede de distribuição urbana de água (%) |
| TRECHOS | 1- Ramal de Belo Jardim a Brejo Madre de Deus | 1.511,88 | 294,22 | 126,25 | 1 | 4 | 73,200 |
| | 2- Ramal de Toritama a Machados | 1.067,29 | 150,55 | 126,15 | 2,619 | 2,898 | 98,790 |
| | 3- Ramal de Caruaru a Salgadinho | 1.522,99 | 121,80 | 106,38 | 2,154 | 3,709 | 100,000 |
| | 4- Ramal de Bezerros a Bonito | 1.464,75 | 136,90 | 147,11 | 1 | 3,053 | 97,992 |
| | 5- Ramal de Caruaru a Ibirajuba | 2.408,12 | 130,67 | 184,00 | 2 | 4 | 100,000 |
| | 6- Ramal de Lajedo a Palmerina | 2.411,61 | 135,07 | 134,73 | 2,064 | 3,569 | 100,000 |
| | 7- Ramal de Lajedo a Bom Conselho | 1.475,16 | 148,30 | 132,18 | 1,761 | 3,291 | 91,832 |

Fonte: O autor, 2023.

Tabela 15 – Resultados das variáveis para cada trecho da 2ª Etapa do SAAP na Dimensão Ecosistêmica

| VARIÁVEL : | | ECOSSISTÊMICA | | |
|-------------|---|--|---|---|
| | | Qualidade da água nos mananciais que abastecem os municípios | Atendimento do Sistema de Esgotamento Sanitário à população | Atendimento do Sistema de Drenagem Urbana |
| INDICADOR : | | Indicador de vulnerabilidade da qualidade de água dos mananciais | Taxa de cobertura da rede urbana de esgotamento sanitário (%) | Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana (%) |
| TRECHOS | 1- Ramal de Belo Jardim a Brejo Madre de Deus | 1 | 0,532 | 0 |
| | 2- Ramal de Toritama a Machados | 2,619 | 0 | 3,985 |
| | 3- Ramal de Caruaru a Salgadinho | 2,154 | 14,802 | 2,472 |
| | 4- Ramal de Bezerros a Bonito | 1 | 0 | 6,577 |
| | 5- Ramal de Caruaru a Ibirajuba | 2 | 68,589 | 1,328 |
| | 6- Ramal de Lajedo a Palmerina | 2,064 | 0 | 30,52 |
| | 7- Ramal de Lajedo a Bom Conselho | 1,761 | 5,879 | 6,346 |

Fonte: O autor, 2023.

As Tabela 16 a Tabela 18 apresentam os resultados da padronização dos valores das variáveis, na escala comum adimensional de 0 a 100.

Tabela 16 – Resultados das variáveis padronizadas para cada trecho da 2ª Etapa do SAAP nas Dimensões de Desenvolvimento Humano e Educação e Saúde

| | | DESENVOLVIMENTO HUMANO | | | EDUCAÇÃO E SAÚDE | | |
|-------------|---|--|-----------------------|---|---|----------------------------------|--|
| VARIÁVEL : | | Desenvolvimento Humano | Concentração de Renda | Pobreza | Analfabetismo | Mortalidade infantil | Doenças de Veiculação Hídrica |
| INDICADOR : | | IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal FIRJAN | Índice de Gini | Índice de Pobreza Humana (proporção de vulneráveis à pobreza, pobres e extremamente pobres) (%) | Taxa de analfabetismo da população com 15 anos de idade ou mais (%) | Taxa de mortalidade infantil (%) | Municípios prioritários para o enfrentamento a doenças de veiculação hídrica |
| TRECHOS | 1- Ramal de Belo Jardim a Brejo Madre de Deus | 94,64 | 0,00 | 0,00 | 63,80 | 100,00 | 100,00 |
| | 2- Ramal de Toritama a Machados | 0,00 | 19,19 | 25,15 | 6,64 | 10,01 | 0,00 |
| | 3- Ramal de Caruaru a Salgadinho | 53,57 | 36,36 | 54,26 | 90,25 | 0,00 | 100,00 |
| | 4- Ramal de Bezerros a Bonito | 55,36 | 57,58 | 62,54 | 45,26 | 11,70 | 100,00 |
| | 5- Ramal de Caruaru a Ibirajuba | 75,00 | 21,21 | 29,28 | 82,00 | 39,38 | 100,00 |
| | 6- Ramal de Lajedo a Palmerina | 100,00 | 66,67 | 100,00 | 100,00 | 7,63 | 100,00 |
| | 7- Ramal de Lajedo a Bom Conselho | 19,64 | 100,00 | 11,00 | 0,00 | 91,14 | 30,93 |

Fonte: O autor, 2023.

Tabela 17 – Resultados das variáveis padronizadas para cada trecho da 2ª Etapa do SAAP nas Dimensões Financeira e Hídrica

| | | FINANCEIRA | | | HÍDRICA | | |
|-------------|---|--|--|--|--|---|--|
| VARIÁVEL : | | Investimento na implantação da segunda etapa do sistema adutor do Agreste Pernambucano | Investimento na ampliação dos sistemas de distribuição de água | Investimento em reposição dos sistemas de distribuição de água | Segurança hídrica das cidades | Performance técnica do gerenciamento de perdas de água | Atendimento do sistema de abastecimento de água à população |
| INDICADOR : | | Custo do trecho por habitante da população urbana atendida em 2035 (R\$/hab) | Custo de ampliação do sistema de distribuição de água por habitante da população urbana atendida em 2035 (R\$/hab) | Custo de reposição do sistema de distribuição de água por habitante da população urbana atendida em 2035 (R\$/hab) | Índice de vulnerabilidade quantitativo dos mananciais e sistemas de produção de água | Categoria de performance técnica do gerenciamento de perdas de água | Taxa de cobertura da rede de distribuição urbana de água (%) |
| TRECHOS | 1- Ramal de Belo Jardim a Brejo Madre de Deus | 66,93 | 0,00 | 74,40 | 100,00 | 0,00 | 100,00 |
| | 2- Ramal de Toritama a Machados | 100,00 | 83,32 | 74,52 | 0,00 | 100,00 | 4,51 |
| | 3- Ramal de Caruaru a Salgadinho | 66,10 | 100,00 | 100,00 | 28,72 | 26,41 | 0,00 |
| | 4- Ramal de Bezerros a Bonito | 70,43 | 91,24 | 47,53 | 100,00 | 85,93 | 7,49 |
| | 5- Ramal de Caruaru a Ibirajuba | 0,26 | 94,85 | 0,00 | 38,23 | 0,00 | 0,00 |
| | 6- Ramal de Lajedo a Palmerina | 0,00 | 92,30 | 63,48 | 34,28 | 39,11 | 0,00 |
| | 7- Ramal de Lajedo a Bom Conselho | 69,66 | 84,63 | 66,76 | 53,00 | 64,34 | 30,48 |

Fonte: O autor, 2023.

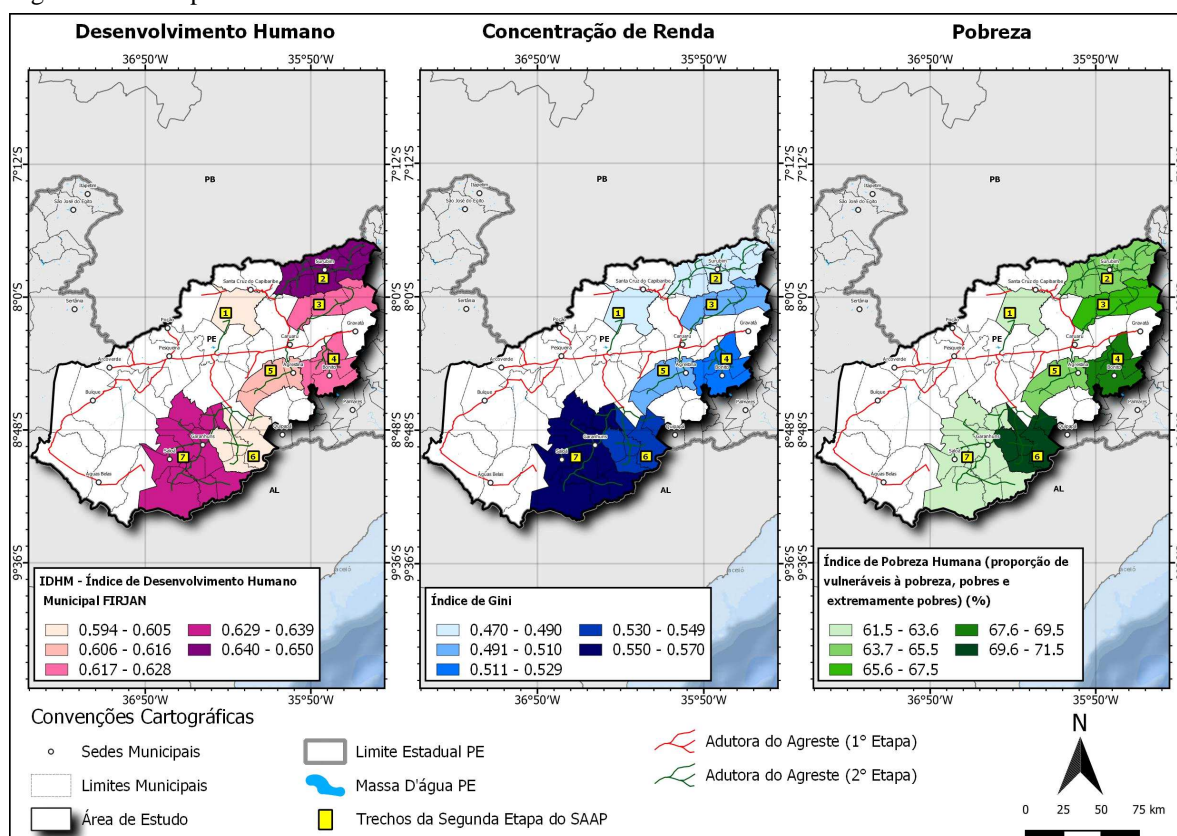
Tabela 18 – Resultados das variáveis padronizadas para cada trecho da 2ª Etapa do SAAP na Dimensão Ecosistêmica

| VARIÁVEL : | | ECOSSISTÊMICA | | |
|-------------|---|--|---|---|
| | | Qualidade da água nos mananciais que abastecem os municípios | Atendimento do Sistema de Esgotamento Sanitário à população | Atendimento do Sistema de Drenagem Urbana |
| INDICADOR : | | Indicador de vulnerabilidade da qualidade de água dos mananciais | Taxa de cobertura da rede urbana de esgotamento sanitário (%) | Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana (%) |
| TRECHOS | 1- Ramal de Belo Jardim a Brejo Madre de Deus | 100,00 | 99,22 | 100,00 |
| | 2- Ramal de Toritama a Machados | 0,00 | 100,00 | 86,94 |
| | 3- Ramal de Caruaru a Salgadinho | 28,72 | 78,42 | 91,90 |
| | 4- Ramal de Bezerros a Bonito | 100,00 | 100,00 | 78,45 |
| | 5- Ramal de Caruaru a Ibirajuba | 38,23 | 0,00 | 95,65 |
| | 6- Ramal de Lajedo a Palmerina | 34,28 | 100,00 | 0,00 |
| | 7- Ramal de Lajedo a Bom Conselho | 53,00 | 91,43 | 79,21 |

Fonte: O autor, 2023.

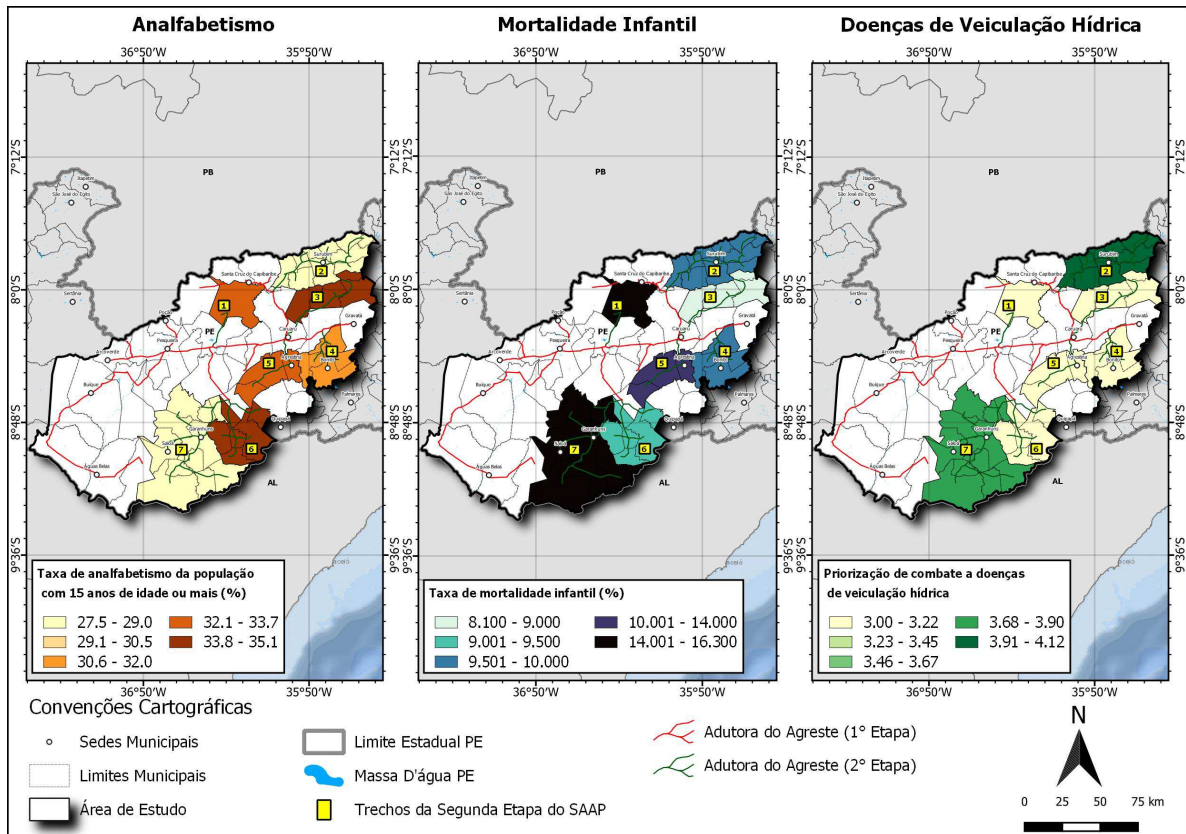
Nas Figura 45 a Figura 49 podem ser verificados os comportamentos das quinze variáveis selecionadas nas cinco dimensões, para os sete trechos da 2ª Etapa do SAAP.

Figura 45 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão de Desenvolvimento Humano



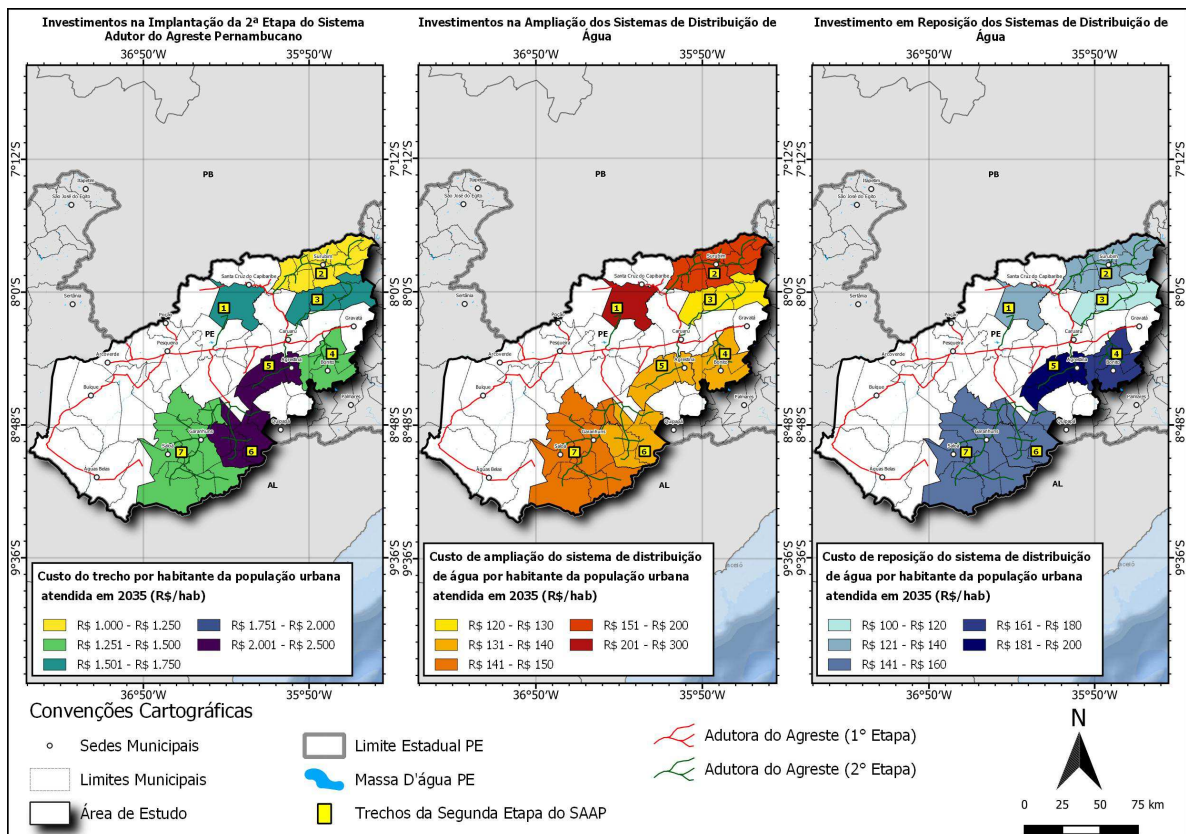
Fonte: O autor, 2023.

Figura 46 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão de Educação e Saúde



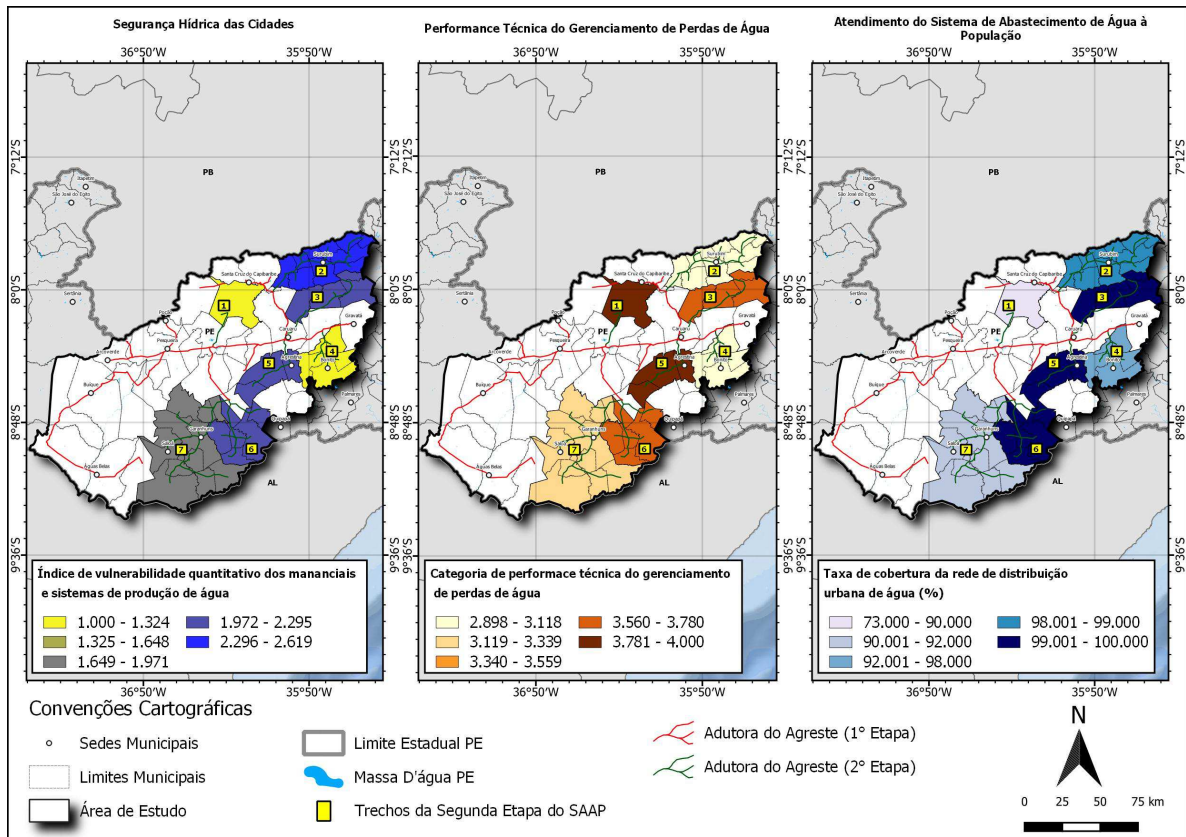
Fonte: O autor, 2023.

Figura 47 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão Financeira



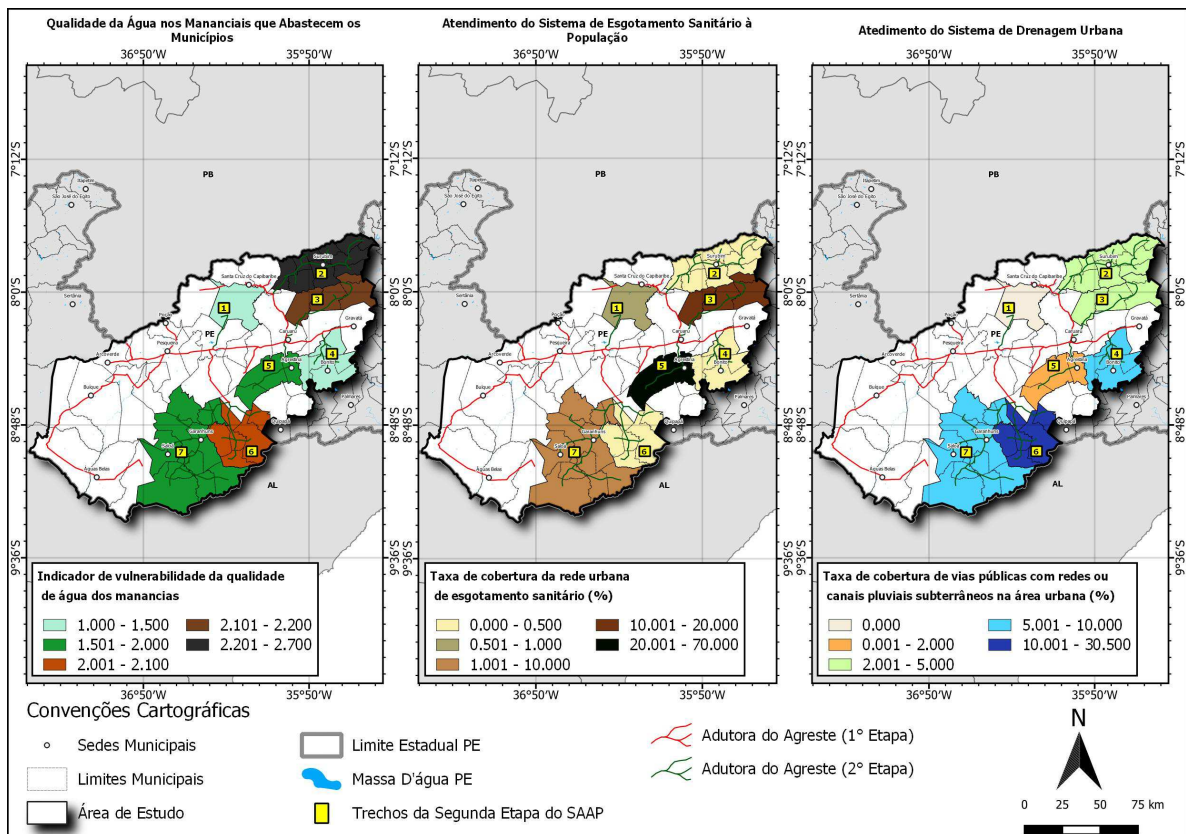
Fonte: O autor, 2023.

Figura 48 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão Hídrica



Fonte: O autor, 2023.

Figura 49 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão Ecológica



Fonte: O autor, 2023.

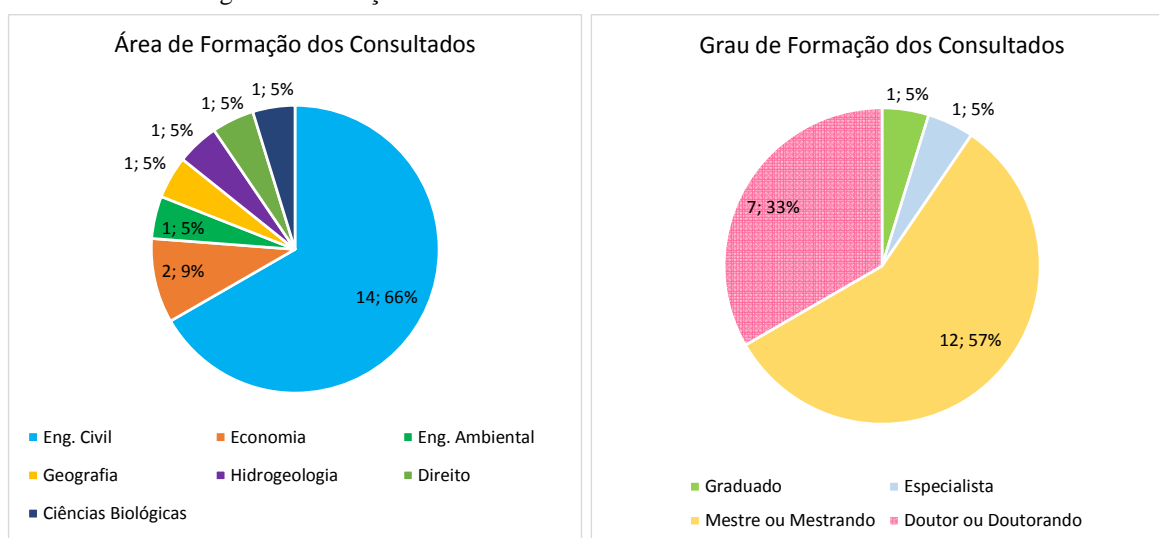
6.2. Resultados das enquetes realizadas

Foram convidados para responder ao Formulário de Consulta 25 gestores e especialistas, cujas atividades estão relacionadas ao objeto da presente dissertação. A estes foi encaminhado um “Documento de apoio à consulta para aplicação do método multicritério AHP de suporte à decisão”, apresentado no Apêndice A, bem como um link para acesso ao “Formulário de consulta”, cujo teor é apresentado no Apêndice B.

O formulário foi respondido por 21 destes profissionais, cuja relação é apresentada no Apêndice C.

Uma visão do perfil dos profissionais consultados é apresentada no Gráfico 7 com uma avaliação do espectro das respectivas áreas e graus de formação.

Gráfico 7 – Área e grau de formação dos consultados



Fonte: O autor, 2023.

Apesar das distintas áreas de formação, a grande maioria dos profissionais consultados são da área de engenharia civil (66%), o que reflete a forte presença de profissionais dessa área atuando tanto na gestão quanto na realização de planos e estudos relacionados ao tema objeto da dissertação, conforme apresentado no Apêndice C.

Verifica-se também que a grande maioria (90%) de profissionais consultados se encontram em formação ou já titulados como mestres ou doutores, o que denota o alto grau de relevância da consulta a profissionais com elevado nível acadêmico.

As 25 perguntas publicadas no Formulário obtiveram, portanto, 21 respostas cada, como registra o Quadro 13, que permitiram a atribuição das significâncias relativas e a obtenção dos resultados, descritos no item 6.4.

Quadro 13 - Resultados das respostas às perguntas sobre a significância relativa entre as variáveis e as dimensões (Continua).

| Dimensão | Pergunta | Resposta | | | | | Número de votos na enquete | Valor adotado da escala de Saaty |
|------------------------|--|------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| | | (a) Muito mais significativo | (b) Mais significativo | (c) Igual significância | (d) Menos significativo | (e) Muito menos significativo | | |
| | Escala de Saaty de importância relativa entre os fatores | 7 | 3 | 1 | 0,33 | 0,14 | | |
| Desenvolvimento Humano | O Desenvolvimento Humano é _____ que a Concentração de Renda? | 5 | 10 | 5 | 1 | 0 | 21 | 3,00 |
| Desenvolvimento Humano | O Desenvolvimento Humano é _____ que a Pobreza? | 4 | 8 | 7 | 1 | 1 | 21 | 2,00 |
| Desenvolvimento Humano | A Concentração de Renda é _____ que a Pobreza? | 0 | 0 | 9 | 11 | 1 | 21 | 0,50 |
| Educação e Saúde | O Analfabetismo é _____ que a Mortalidade Infantil? | 0 | 1 | 4 | 11 | 5 | 21 | 0,33 |
| Educação e Saúde | O Analfabetismo é _____ que as Doenças de Veiculação Hídrica? | 0 | 3 | 5 | 11 | 2 | 21 | 0,50 |
| Educação e Saúde | A Mortalidade Infantil é _____ que as Doenças de Veiculação Hídrica? | 3 | 9 | 6 | 3 | 0 | 21 | 2,00 |
| Financeira | Os Investimentos na implantação da 2ª Etapa do SAAP são _____ que os Investimentos na ampliação dos sistemas de distribuição de água? | 1 | 6 | 12 | 2 | 0 | 21 | 2,00 |
| Financeira | Os Investimentos na implantação da 2ª Etapa do SAAP são _____ que os Investimentos na reposição dos sistemas de distribuição de água? | 1 | 11 | 7 | 2 | 0 | 21 | 2,00 |
| Financeira | Os Investimentos na ampliação dos sistemas de distribuição de água são _____ que os Investimentos na reposição dos sistemas de distribuição de água? | 1 | 4 | 12 | 4 | 0 | 21 | 1,00 |
| Hídrica | A Segurança hídrica nas cidades é _____ que Performance técnica do gerenciamento de perdas de água? | 4 | 12 | 4 | 1 | 0 | 21 | 3,00 |
| Hídrica | A Segurança hídrica nas cidades é _____ que o Atendimento do sistema de abastecimento de água à população? | 3 | 8 | 10 | 0 | 0 | 21 | 2,00 |
| Hídrica | A Performance técnica do gerenciamento de perdas de água é _____ que o Atendimento do sistema de abastecimento de água à população? | 1 | 3 | 8 | 8 | 1 | 21 | 0,50 |
| Ecosistêmica | A Qualidade da água nos mananciais que abastecem os municípios é _____ que o Atendimento do sistema de esgotamento sanitário à população? | 1 | 6 | 11 | 3 | 0 | 21 | 2,00 |
| Ecosistêmica | A Qualidade da água nos mananciais que abastecem os municípios é _____ que o Atendimento do sistema de drenagem urbana nas cidades? | 4 | 12 | 4 | 1 | 0 | 21 | 3,00 |
| Ecosistêmica | O Atendimento do sistema de esgotamento sanitário à população é _____ que o Atendimento do sistema de drenagem urbana nas cidades? | 5 | 8 | 8 | 0 | 0 | 21 | 3,00 |
| Entre Dimensões | A Dimensão de Desenvolvimento Humano é _____ que a Dimensão de Educação e Saúde? | 0 | 5 | 12 | 3 | 1 | 21 | 1,00 |
| Entre Dimensões | A Dimensão de Desenvolvimento Humano é _____ que a Dimensão Financeira? | 2 | 13 | 2 | 4 | 0 | 21 | 3,00 |

Fonte: O autor, 2023.

Quadro 13 - Resultados das respostas às perguntas sobre a significância relativa entre as variáveis e as dimensões (Conclusão).

| Dimensão | Pergunta | Resposta | | | | | Número de votos na enquete | Valor adotado da escala de Saaty |
|-----------------|---|------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| | | (a) Muito mais significativo | (b) Mais significativo | (c) Igual significância | (d) Menos significativo | (e) Muito menos significativo | | |
| | Escala de Saaty de importância relativa entre os fatores | 7 | 3 | 1 | 0,33 | 0,14 | | |
| Entre Dimensões | A Dimensão de Desenvolvimento Humano é _____ que a Dimensão Hídrica? | 0 | 6 | 9 | 6 | 0 | 21 | 1,00 |
| Entre Dimensões | A Dimensão de Desenvolvimento Humano é _____ que a Dimensão Ecosistêmica? | 0 | 10 | 8 | 3 | 0 | 21 | 2,00 |
| Entre Dimensões | A Dimensão de Educação e Saúde é _____ que a Dimensão Financeira? | 1 | 13 | 4 | 3 | 0 | 21 | 2,00 |
| Entre Dimensões | A Dimensão de Educação e Saúde é _____ que a Dimensão Hídrica? | 0 | 6 | 10 | 4 | 1 | 21 | 1,00 |
| Entre Dimensões | A Dimensão de Educação e Saúde é _____ que a Dimensão Ecosistêmica? | 0 | 11 | 7 | 3 | 0 | 21 | 2,00 |
| Entre Dimensões | A Dimensão Financeira é _____ que a Dimensão Hídrica? | 0 | 1 | 7 | 12 | 1 | 21 | 0,50 |
| Entre Dimensões | A Dimensão Financeira é _____ que a Dimensão Ecosistêmica? | 1 | 1 | 6 | 13 | 0 | 21 | 0,50 |
| Entre Dimensões | A Dimensão Hídrica é _____ que a Dimensão Ecosistêmica? | 1 | 6 | 11 | 2 | 1 | 21 | 2,00 |

Fonte: O autor, 2023.

6.3. Matrizes de Saaty

Nos Quadros 14 a 19, se apresentam as matrizes de Saaty para as variáveis das dimensões e para o cruzamento entre as dimensões, conforme os resultados da enquete realizada através do formulário.

Quadro 14 - Matriz de Saaty para a Dimensão de Desenvolvimento Humano

| Variáveis | Desenvolvimento Humano | Concentração de Renda | Pobreza |
|------------------------|------------------------|-----------------------|---------|
| Desenvolvimento Humano | 1,00 | 3,00 | 2,00 |
| Concentração de Renda | 0,33 | 1,00 | 0,50 |
| Pobreza | 0,50 | 2,00 | 1,00 |

Fonte: O autor, 2023.

Quadro 15 - Matriz de Saaty para a Dimensão de Educação e Saúde

| Variáveis | Analfabetismo | Mortalidade Infantil | Doenças de Veiculação Hídrica |
|-------------------------------|---------------|----------------------|-------------------------------|
| Analfabetismo | 1,00 | 3,00 | 0,50 |
| Mortalidade Infantil | 0,33 | 1,00 | 2,00 |
| Doenças de Veiculação Hídrica | 2,00 | 0,50 | 1,00 |

Fonte: O autor, 2023.

Quadro 16 - Matriz de Saaty para a Dimensão Financeira

| Variáveis | Investimento na implantação da 2ª Etapa do SAAP | Investimento na ampliação dos sistemas de distribuição de água | Investimento na reposição dos sistemas de distribuição de água |
|--|---|--|--|
| Investimento na implantação da 2ª Etapa do SAAP | 1,00 | 2,00 | 2,00 |
| Investimento na ampliação dos sistemas de distribuição de água | 0,50 | 1,00 | 1,00 |
| Investimento na reposição dos sistemas de distribuição de água | 0,50 | 1,0 | 1,00 |

Fonte: O autor, 2023.

Quadro 17 - Matriz de Saaty para a Dimensão Hídrica

| Variáveis | Segurança hídrica das cidades | Performance técnica do gerenciamento de perdas de água | Atendimento do sistema de abastecimento de água à população |
|---|-------------------------------|--|---|
| Segurança hídrica das cidades | 1,00 | 3,00 | 2,00 |
| Performance técnica do gerenciamento de perdas de água | 0,33 | 1,00 | 0,50 |
| Atendimento do sistema de abastecimento de água à população | 0,50 | 2,00 | 1,00 |

Fonte: O autor, 2023.

Quadro 18 - Matriz de Saaty para a Dimensão Ecológica

| Variáveis | Qualidade da água nos mananciais que abastecem os municípios | Atendimento do Sistema de Esgotamento Sanitário à população | Atendimento do sistema de drenagem urbana às cidades |
|--|--|---|--|
| Qualidade da água nos mananciais que abastecem os municípios | 1,00 | 2,00 | 3,00 |
| Atendimento do Sistema de Esgotamento Sanitário à população | 0,50 | 1,00 | 3,00 |
| Atendimento do sistema de drenagem urbana às cidades | 0,50 | 0,33 | 1,00 |

Fonte: O autor, 2023.

Quadro 19 - Matriz de Saaty para o cruzamento entre Dimensões

| Dimensões | Desenvolvimento Humano | Educação e Saúde | Financeira | Hídrica | Ecológica |
|------------------------|------------------------|------------------|------------|---------|-----------|
| Desenvolvimento Humano | 1,00 | 1,00 | 3,00 | 1,00 | 2,00 |
| Educação e Saúde | 1,00 | 1,00 | 2,00 | 1,00 | 2,00 |
| Financeira | 0,33 | 0,50 | 0,50 | 0,50 | 0,50 |
| Hídrica | 1,00 | 1,00 | 2,00 | 1,00 | 2,00 |
| Ecológica | 0,50 | 0,50 | 2,00 | 0,50 | 1,00 |

Fonte: O autor, 2023.

6.4. Priorização dos trechos da 2ª Etapa do SAAP

As respostas às comparações entre as variáveis e dimensões obtidas através da enquete realizada por meio do formulário foram computadas através do aplicativo AHP-OS. Assim, o processamento das matrizes de Saaty gerou os pesos para cada critério, como apresenta o Quadro 20. Na Tabela 19 são apresentados os Graus de Consistência (CR) de cada nó das matrizes de comparação (Quadro 14 a Quadro 19), todos eles inferiores ao máximo admissível de 10%.

Quadro 20 - Pesos das dimensões e variáveis para a seleção da ordem de priorização de implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP, conforme o método AHP.

| Dimensão | Peso da Dimensão | Variáveis | Peso da Variável na Dimensão | Peso Total ¹ |
|------------------------|------------------|--|------------------------------|-------------------------|
| Desenvolvimento Humano | 26,56% | Desenvolvimento Humano | 53,96% | 14,33% |
| | | Concentração de Renda | 16,34% | 4,34% |
| | | Pobreza | 29,70% | 7,89% |
| Educação e Saúde | 24,58% | Analfabetismo | 16,34% | 4,02% |
| | | Mortalidade Infantil | 53,96% | 13,26% |
| | | Doenças de Veiculação Hídrica | 29,70% | 7,30% |
| Financeira | 10,00% | Investimento na implantação da 2ª Etapa do SAAP | 50,00% | 5,00% |
| | | Investimento na ampliação dos sistemas de distribuição de água | 25,00% | 2,50% |
| | | Investimento na reposição dos sistemas de distribuição de água | 25,00% | 2,50% |
| Hídrica | 24,58% | Segurança hídrica das cidades | 53,96% | 13,26% |
| | | Performance técnica do gerenciamento de perdas de água | 16,34% | 4,02% |
| | | Atendimento do sistema de abastecimento de água à população | 29,70% | 7,30% |
| Ecossistêmica | 14,27% | Qualidade da água nos mananciais que abastecem os municípios | 52,78% | 7,53% |
| | | Atendimento do Sistema de Esgotamento Sanitário à população | 33,25% | 4,75% |
| | | Atendimento do sistema de drenagem urbana às cidades | 13,96% | 1,99% |

1 – Peso Total = Peso Dimensão x Peso da Variável na Dimensão. O somatório dos Pesos Totais é de 100%.

Fonte: O autor, 2023.

Tabela 19 - Graus de Consistência dos Nós das Matrizes

| Nó das Matrizes | Cruzamento entre Dimensões | Dimensão do Desenvolvimento Humano | Dimensão da Educação e Saúde | Dimensão Financeira | Dimensão Hídrica | Dimensão Ecológica |
|-----------------|----------------------------|------------------------------------|------------------------------|---------------------|------------------|--------------------|
| CR | 1,2% | 1,0% | 1,0% | 0,0% | 1,0% | 5,6% |

Fonte: O autor, 2023.

Nota-se claramente, através do resultado dos Pesos Totais apresentados no Quadro 20, uma maior importância dada a duas questões: a social, com grande destaque da relevância das variáveis relacionadas ao Desenvolvimento Humano e à Mortalidade Infantil, e a da segurança hídrica das cidades, relacionada não só à vulnerabilidade quantitativa dos mananciais e sistemas de produção de água, mas também à vulnerabilidade dos municípios, quanto à qualidade da água dos mananciais que os abastecem.

Analisando-se esse resultado face ao perfil dos consultados, gestores e especialistas no âmbito do planejamento e gestão dos recursos hídricos, nota-se que, apesar de dois terços serem engenheiros civis, o que poderia induzir a um viés mais voltado a uma maior relevância à questão dos investimentos necessários à implantação das obras do SAAP e dos sistemas de distribuição de água nos municípios, ou seja, à Dimensão Financeira, esta foi, na verdade, a dimensão a que se atribuiu o menor peso (10,00%) e, em contrapartida, as Dimensões de Desenvolvimento Humano (26,56%), Educação e Saúde (24,58%) e Hídrica (24,58%) foram as que, sob o ponto de vista dos consultados, foram consideradas as mais relevantes para uma tomada de decisão para uma hierarquização dos trechos a implantar na 2ª Etapa do SAAP. Isso denota um elevado grau de conscientização das questões sociais e de segurança hídrica por parte dos responsáveis diretos ou indiretos, tais como os profissionais da área de consultoria de engenharia, pelas tomadas de decisão relacionadas à implantação de infraestruturas hídricas do porte do SAAP.

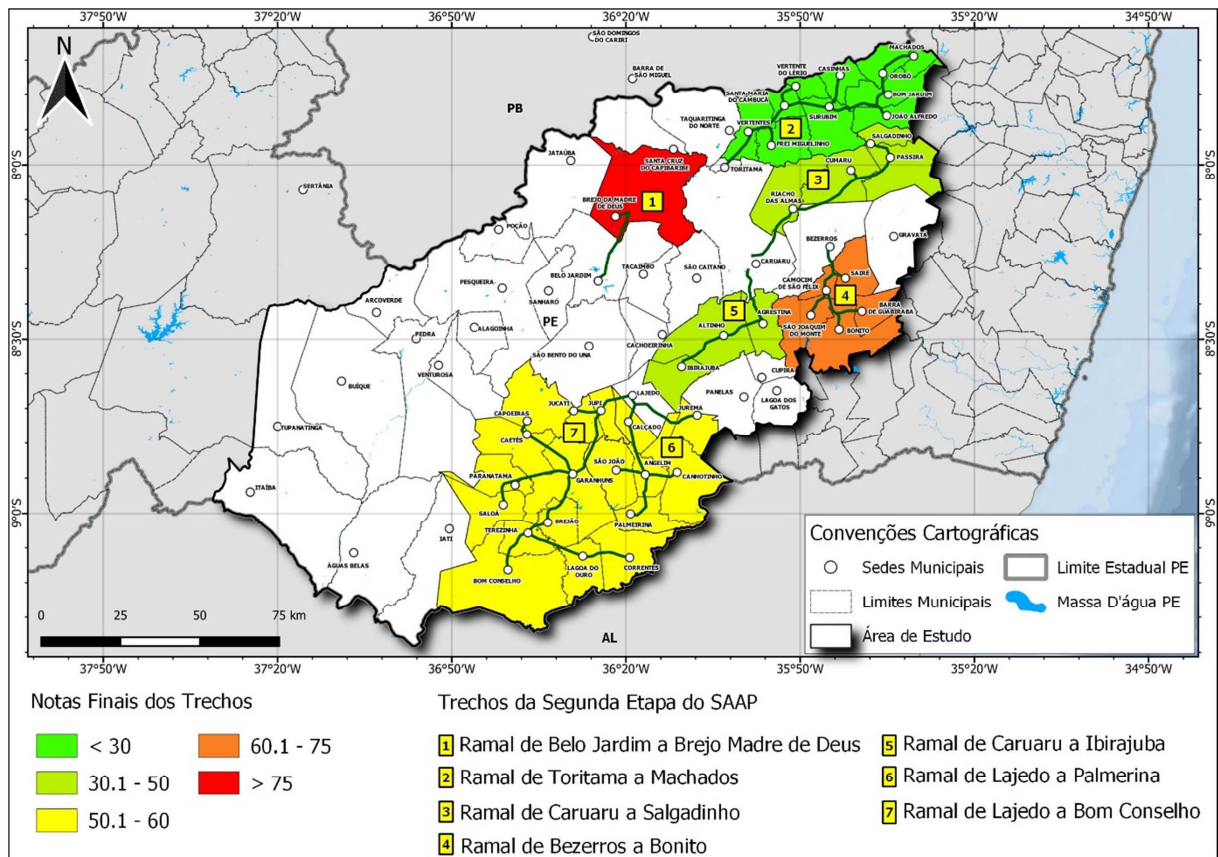
Portanto, a partir da aplicação dos pesos globais resultantes às variáveis padronizadas, foram obtidas as notas finais de priorização de implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP, presentes no Quadro 21 e na Figura 50 e Figura 51. Assim, o trecho selecionado para implantação prioritária foi o **1 - Ramal de Belo Jardim a Brejo Madre de Deus**, com a maior nota final, igual a 76,46. Em sequência, os trechos **4 – Ramal de Bezerros a Bonito** e **7 – Ramal de Lajedo a Bom Conselho** deverão ser implementados, e assim por diante, ressaltando-se assim o papel da aplicação da metodologia multicritério AHP na hierarquização voltada ao planejamento da implantação das infraestruturas hídricas do SAAP.

Quadro 21 - Notas finais de priorização de implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP de acordo com o método AHP.

| Trechos | Nota | Ranking |
|--|-------|---------|
| 1 - Ramal de Belo Jardim a Brejo Madre de Deus | 76,70 | 1º |
| 4 - Ramal de Bezerros a Bonito | 64,13 | 2º |
| 6 - Ramal de Lajedo a Palmerina | 54,79 | 3º |
| 7 - Ramal de Lajedo a Bom Conselho | 51,39 | 4º |
| 3 - Ramal de Caruaru a Salgadinho | 45,36 | 5º |
| 5 - Ramal de Caruaru a Ibirajuba | 42,04 | 6º |
| 2 - Ramal de Toritama a Machados | 24,19 | 7º |

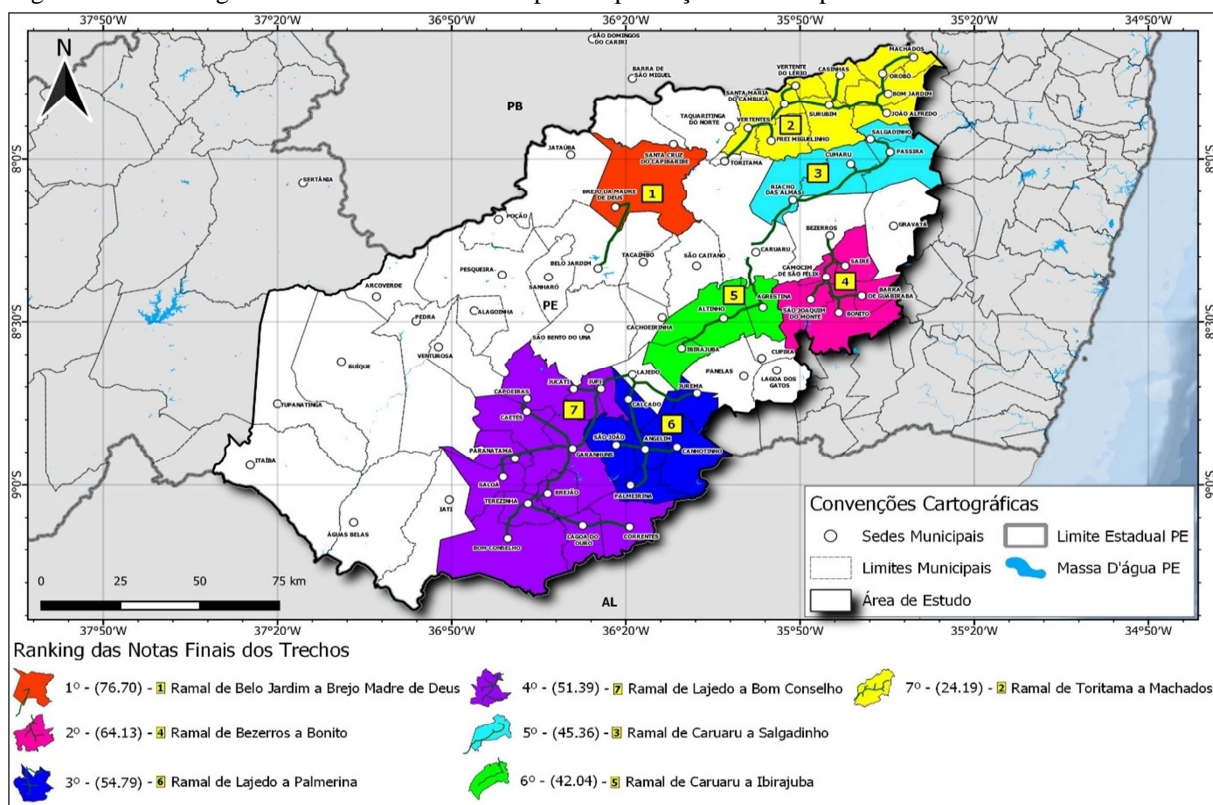
Fonte: O autor, 2023.

Figura 50 – Notas finais dos trechos para hierarquização da implantação da 2ª Etapa do SAAP



Fonte: O autor, 2023.

Figura 51 – Ranking das notas finais dos trechos para implantação da 2ª Etapa do SAAP



Fonte: O autor, 2023.

Verifica-se, portanto, como principal resultado desta dissertação, que os municípios atendidos pelos trechos 1 – Ramal de Belo Jardim a Brejo Madre de Deus e 4 – Ramal de Bezerros a Bonito, devem ter as obras da 2ª Etapa do SAAP priorizadas, de forma a proporcionar melhorias significativas nas condições sociais de suas populações, além de garantir sua segurança hídrica, tanto em quantidade, quanto em qualidade da água que as abastece.

Após a implantação desses dois primeiros trechos, deve-se priorizar aqueles que atendem as zonas mais a sudoeste do SAAP, abastecidos a partir de Lajedo, quais sejam, os trechos 6 – Ramal de Lajedo a Palmerina e 7 – Ramal de Lajedo a Bom Conselho.

Por fim, os trechos da 2ª Etapa do SAAP abastecidos a partir de Caruaru e Toritama (Trechos 3, 5 e 2), situados em uma região que já conta com um forte desenvolvimento econômico e social, bem como com melhores condições de segurança hídrica, devem ser então implantados.

Portanto, o método forneceu como resultado uma lista das alternativas de implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP, classificadas em ordem decrescente de prioridades, de acordo com as preferências dos decisores. Na primeira posição da lista se destacou a

implantação do Trecho 1 – Ramal de Belo Jardim a Brejo da Madre de Deus. Em seguida aparecem hierarquicamente definidas a implantação dos Trechos 4 – Ramal de Bezerros a Bonito e 6 – Ramal de Lajedo a Palmerina, evidenciando assim a necessidade de priorizar o atendimento às regiões com menores índices de desenvolvimento humano, bem como as mais afetadas com relação à vulnerabilidade quantitativa e qualitativa de seus mananciais e sistemas de produção de água.

O Trecho 1, que atenderá o município de Brejo da Madre de Deus, é o que apresenta, dentre os trechos analisados, as maiores taxas de mortalidade infantil e de vulnerabilidade quantitativa e qualitativa dos mananciais e sistemas de produção de água, bem como as menores taxas de cobertura dos sistemas de abastecimento d'água e drenagem urbana, situando-se ainda entre que possuem as menores taxas de cobertura de esgotamento sanitário. Possui também o segundo menor índice de desenvolvimento humano, o que se traduz no resultado alcançado através da metodologia utilizada.

Características semelhantes também se refletem no Trecho 4, o segundo em ordem de priorização e que atende à região sudoeste do SAAP. Ele não conta com cobertura da rede urbana de esgotamento sanitário em nenhum dos cinco municípios a serem atendidos pelo sistema adutor, sendo alguns deles prioritários para o enfrentamento a doenças de veiculação hídrica. Esses municípios possuem também uma alta vulnerabilidade quantitativa e qualitativa de seus mananciais e sistemas de produção de água.

Conforme comentado no PERH|PE (SEINFRA-PE, 2022), apesar dos trechos 6 e 7, o terceiro e quarto em ordem de priorização, atenderem uma região vocacionada para a agroindústria leiteira, tendo como referência os investimentos já realizados no processamento de produtos lácteos no município de Garanhuns, esta apresenta o risco de secas que já afetaram o rebanho leiteiro, comprometendo esta vocação e demandando, assim, investimentos para a disponibilização de água e redução da insegurança hídrica.

Por outro lado, a região noroeste de atendimento pelo SAAP, onde se encontram os polos de Caruaru (cultura, turismo e produção têxtil) e Toritama (confeccões), conta com a dinamização da sua economia pela indústria, juntamente com os serviços agregados pelo comércio, trazendo assim melhorias nos indicadores econômicos e sociais. Agregando-se a esses fatores, a vulnerabilidade dos mananciais nessa região se mostra também menos intensa, o que se reflete nos resultados de hierarquização de implantação dos trechos 2 e 3 da 2ª Etapa do SAAP, os quais se situaram dentre os últimos na ordem de priorização de implantação por meio da aplicação da metodologia AHP.

CONCLUSÕES

O processo decisório sobre políticas e obras de recursos hídricos, historicamente, tem sido restringido apenas ao poder público e aos grandes usuários e empreendedores, mantendo limitada a participação da sociedade e demais interessados. Além disso, apesar do surgimento da Política Nacional de Recursos Hídricos e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, por meio da Lei nº 9.433/9, ainda continuam a ser utilizadas as formas tradicionais de tomada de decisão, com a responsabilidade concentrada nos governos federal e estaduais.

O processo de tomada de decisão é caracterizado por pouco conhecimento inicial da situação a ser enfrentada, muitos objetivos e interesses divergentes. Essas dificuldades podem ser mitigadas com a adoção de modelos de análise de decisão multicritério, os quais permitem: definir o problema, caracterizar o cenário que o envolve, identificar os principais atores envolvidos, definir os objetivos dos decisores e explicitar as potenciais alternativas de decisão. Essa sistematização confere maior objetividade e confiabilidade ao processo decisório.

Esse trabalho visa, justamente, por meio do conhecimento acadêmico e profissional de uma gama de pessoas consultadas, envolvidas em temas relacionados à gestão e ao gerenciamento dos recursos hídricos no Nordeste, tratar da relevância de diversos aspectos a serem considerados em uma tomada de decisão para a implantação de grandes obras hídricas.

Relativamente ao método de avaliação multicritério escolhido, o Analytic Hierarchy Process (AHP) revelou-se bastante adequado como técnica de apoio à decisão, uma vez que considera não só aspectos econômicos, financeiros e técnicos, mas também sociais, culturais e ambientais no processo de tomada de decisão. Os julgamentos realizados são contribuições pessoais dos tomadores de decisão, com base em suas percepções, experiências, interesses e conhecimentos, pois o método inclui elementos subjetivos e objetivos em sua análise, com igual importância. Essas características justificam a ampla utilização do método em todo o mundo, tanto no setor público quanto no privado, em diversas áreas e situações, considerando sua simplicidade, facilidade de entendimento e incentivando a participação do grupo consultado para avaliar os aspectos mais relevantes relacionados ao tema em análise.

A metodologia empregada, de um modo geral, evidenciou diversas características dos métodos de análise de decisão multicritério, tais como: agregar valor à informação; a avaliação de alternativas em relação a critérios definidos e a priorização de opções em ordem

decrecente de valor, de acordo com as preferências dos tomadores de decisão. Este procedimento identifica quais variáveis são realmente importantes para os resultados globais e proporciona aos decisores envolvidos uma melhor percepção do julgamento qualitativo sobre os temas, aumentando assim o nível de confiança na tomada de decisão.

Assim, na esfera das políticas públicas de desenvolvimento econômico e social, as técnicas de avaliação multicritério para a priorização de investimentos em infraestruturas hídricas podem ser consideradas como importantes ferramentas de apoio à tomada de decisão.

Como resultado alcançado, obteve-se uma relação ordenada hierarquicamente para a implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP. A implantação do Trecho 1 – Ramal de Belo Jardim a Brejo da Madre de Deus deve ser realizada em primeiro lugar e a seguir os Trechos 4 – Ramal de Bezerros a Bonito e 6 – Ramal de Lajedo a Palmerina, o que confirma a necessidade de atender prioritariamente as regiões com maior vulnerabilidade de seus mananciais e sistemas de produção de água, tanto quantitativa, quanto qualitativamente, além de priorizar o atendimento às regiões com menores índices de desenvolvimento humano.

Por conseguinte, a presente dissertação deverá ser encaminhada aos atuais gestores do MIDR e da ANA, em vista da interrelação dessas obras com as de integração de bacias hidrográficas a nível federal, como o PISF, da Secretaria de Recursos Hídricos e Saneamento do Estado de Pernambuco, da COMPESA e dos Comitês de Bacias Hidrográficas envolvidos na região atendida pela 2ª Etapa do SAAP, para que, com base nos resultados deste modelo de subsídio à tomada de decisões, venha a se desenvolver um planejamento otimizado para a implantação dos trechos da 2ª Etapa do SAAP.

Ressalta-se, no entanto, que esta dissertação se baseia na utilização da base de dados de duas importantes obras desenvolvidas no período de 2018 a 2022, o PERH|PE (SEINFRA-PE, 2022) e o Atlas Águas (ANA, 2021), bem como na análise e interpretação dos resultados alcançados, com vistas a subsidiar a tomada de decisões no âmbito do planejamento e gestão dos recursos hídricos do Estado Pernambucano.

Porém, com medidas em andamento, como a ampliação nos próximos anos da cobertura do atendimento dos sistemas de abastecimento d'água, amparada pelo Novo Marco Regulatório do Saneamento (Brasil, 2020), as ações de redução de perdas d'água nos municípios envolvidos e a divulgação do Censo 2022 pelo IBGE, esses resultados podem sofrer ajustes, sendo, portanto, recomendado atualizar periodicamente os indicadores das variáveis utilizadas no Método AHP e reinterpretar seus resultados.

Assim, caso o prazo para a implantação da 2ª Etapa do SAAP seja alargado por muitos anos, sugere-se também a atualização da base de dados utilizada, com a reavaliação da

metodologia empregada, proporcionando então resultados que melhor correspondam à situação naquele momento.

6.5. Recomendações para trabalhos futuros

No que concerne a trabalhos futuros, que podem vir a ser realizados pelo Setor Público ou Academia, ou mesmo em parceria, recomenda-se a elaboração de estudos e modelagens relativos ao manejo das águas no SAAP, o qual é abastecido a partir de diferentes mananciais, como os do PISF (Ramal do Agreste, Adutora de Moxotó, Adutora do Alto Capibaribe), barragens e captações de água subterrânea, de forma a otimizar o uso da água, levando-se em consideração as disponibilidades hídricas nestes mananciais, bem como os custos envolvidos para a captação e o transporte da água através do sistema adutor.

REFERÊNCIAS

ABRISHAMCHI, A.; EBRAHIMIAN, A.; TAJRISHI, M.; MARIÑO, M. **A Case study: Application of multicriteria decision making to urban water supply.** J. Water Resour. Plan. Manag. 2005, 131, 326.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas Brasil – Abastecimento Urbano de Água: Panorama Nacional.** Elaborado pelo Consórcio Engecorps-Cobrape, Brasília, DF, 2010. Disponível em <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/575df5de-4c8b-4be6-9e1b-2a8c996fd555>. Acessado em 26/10/2021.

AHAMMED, F.; ALANKARAGE-HEWA, G.; ARGUE, J. R. **Applying multi-criteria decision analysis to select WSUD and LID technologies.** Water Sci. Technol. Water Supply 2012, 12, 844–853.

ALCOFORADO, R. M. G.; SILVA JUNIOR, M. A. B. ; ASFORA, M. C. ; VORON, B. ; ALHEIROS, M. M. . Hydro environmental plan of Capibaribe and Ipojuca river basins - Pernambuco - Brazil. **In: XIV World Water Congress, 2011**, Ipojuca / PE. ANAIS do XIV World Water Congress, 2011.

AL-ZU' BI, Y.; SHATANAWI, M.; AL-JAYOUSSI, O.; AL-KHARABSHEH, A. **Application of Decision Support System for Sustainable Management of Water Resources in the Azraq Basin—Jordan.** Water Int. 2002, 27, 532–541.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas de Vulnerabilidade a Inundações**, Brasília, DF, 2014. Disponível em https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/2cfa808b-b370-43ef-8107-5c3bfd7acf9c/attachments/Atlas_de_Vulnerabilidade_a_Inundaes.pdf. Acessado em 19/07/2022.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Unidades de Planejamento Hídrico**, 2016. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/df48de18-753b-4789-964d-7f0967c53d08>. Acessado em: 22 mai. 2022.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Plano Nacional de Segurança Hídrica, PNSH.** Elaborado pela Engecorps Engenharia S.A., Brasília, DF, 2019. Disponível em <https://pnsh.ana.gov.br/home> Acessado em 10/02/2021.

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas Águas – Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano.** Elaborado pelo Consórcio Engecorps-TPF-Profill, Brasília, DF, 2021. Disponível em <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/1d27ae7adb7f4baeb224d5893cc21730>. Acessado em 26/10/2021.

ANTUNES, F. S.; CAMPOS, T. M. P.; POLIVANOV, H.; CALDERANO, S. B.; ANDRADE, A. G. **Desenvolvimento de classes e unidades geo-pedológicas a partir da**

interação entre a pedologia e a geotecnia. Revista Luso-Brasileira de Geotecnia, 127, 2013, 61-79.

BACALHAU, J. R. **Simulação da Disponibilidade Hídrica e Operação de Reservatórios de Abastecimento em Relação à Variabilidade Climática: Bacia do Rio Pirapama em Pernambuco.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2015. 164p.

BARRETO, P. H. **História - Seca, fenômeno secular na vida dos nordestinos.** IPEA – Desafios do desenvolvimento, Ano 6, Edição 48, 2009.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação.** Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.

BENZERRA, A.; CHERRARED, M.; CHOCAT, B.; CHERQUI, F.; ZEKIOUK, T. **Decision support for sustainable urban drainage system management: A case study of Jijel, Algeria.** J. Environ. Manag. 2012, 101, 46–53.

BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento. **Prestação de serviços de apoio na implementação das ações chave do Plano de Gestão de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Rio Paraguai – Componente 4 – Workshop 01.** Elaborado pelo Consórcio TPF-Profill, Washington, 2022.

BRAGA B., BARBOSA, P. S. F. e NAKAYAMA, P. T. **Sistema de Suporte à Decisão em Recursos Hídricos,** RBRH, v. 3, no 3, 1998.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. **Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em 21 mai.2022

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Dispõe sobre a atualização do marco legal do saneamento básico.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm>. Acesso em 21 mai.2022

CARVALHO JUNIOR, A. P. de C.; NOVAIS, R. P. de .; OLIVEIRA, M. A. de . A Perenização de rios através da construção de açudes para o combate à seca no semiárido nordestino. **Geopauta**, [S. l.], v. 6, p. e9401, 2022. DOI: 10.22481/rg.v6.e2022.e9401. Disponível em: <https://periodicos2.uesb.br/index.php/geo/article/view/9401>. Acesso em: 15 nov. 2022.

CASTILLO, M. **Toma de Decisiones en las Empresas: Entre el arte y la Técnica;** Ediciones Uniandes: Bogotá, Colombia, 2006.

CHUNG, E. S.; LEE, K. S. **Prioritization of water management for sustainability using hydrologic simulation model and multicriteria decision making techniques.** J. Environ. Manag. 2009, 90, 1502–1511.

CIRILO, J. ALMIR. Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 61–82, 2008.

CNPQ - Plataforma Lattes. **Currículo Lattes**, 2023. Disponível em <https://lattes.cnpq.br/>. Último acesso em 10/03/2023.

CODEVASF - Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. **Projeto São Francisco**, 2018. Disponível em <https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocio/projeto-sao-francisco>. Acessado em 12/02/2021

COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento. **Elaboração do Projeto Básico, Estudos Complementares e Plano de Educação Sócio-Ambiental do Sistema Adutor do Agreste no Estado de Pernambuco**, Elaborado pelo Consórcio Concremat-Projetec-Engeconsult, Recife, 2012.

COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento. **Governo do Estado garante a execução da obra da Adutora do Agreste**. Matéria publicada no site da COMPESA na internet em 29/08/2022. 2022a, disponível em <https://servicos.compesa.com.br/governo-do-estado-garante-execucao-da-obra-da-adutora-do-agreste/>. Acessado em 18/03/2023.

COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento. **Paulo Câmara inaugura mais um trecho da Adutora do Agreste, em Arcoverde**. Matéria publicada no site da COMPESA na internet em 26/12/2022. 2022b, disponível em <https://servicos.compesa.com.br/paulo-camara-inaugura-mais-um-trecho-da-adutora-do-agreste-em-arcoverde/>. Acessado em 18/03/2023.

COSTA, W.D; COSTA FILHO, W.D; SIQUEIRA, L.; MANOEL FILHO, J.; DEMETRIO, J.G e FEITOSA, E.C. A gestão das águas subterrâneas na bacia sedimentar do Jatobá – Pernambuco. **Anais do XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. Florianópolis. 4 p. 2002.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Mapa de Domínios e Subdomínios Hidrogeológicos do Brasil**. Escala 1:2.500.000. Mapa e anexos. CD-ROM. 2007. Acesso em: 22 mai. 2022.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Mapa geológico do Brasil ao milionésimo**, Rio de Janeiro. DVD. 2005. Acesso em: 22 mai. 2022.

DAHLQUIST, G., BJORCK, A. **Numerical Methods**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1974.

EGGIMANN, S.; MUTZNER, L.; WANI, O.; SCHNEIDER, M. Y.; SPUHLER, D.; MOY DE VITRY, M.; PHILIPP, B.; MAURER, M. **The potential of knowing more—A review of data-driven urban water management**. Environ. Sci. Technol. 2017, 51, 2538–2553.

ENNAOURI, I.; FUAMBA, M. **New Integrated Condition-Assessment Model for Combined Storm-Sewer Systems**. J. Water Resour. Plan. Manag. 2013, 139, 53–64.

FIGUEIRA, J.; GRECO, S.; EHRGOTT, M. (Eds.) **Multiple Criteria Decision Analysis: State of Art Surveys**; Springer Science + Business Media, Inc.: Boston, MA, USA, 2005; ISBN 9788578110796.

FIRJAN - Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. **Índice FIRJAN de Desenvolvimento Municipal**, 2022. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/data/files/46/21/E2/BD/DF834610C4FC8246F8A809C2/Methodologia%20IFDM%20-%20Final.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2022.

FREITAS, A. J. de. **Gestão de recursos hídricos**. In: SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. (Editores). *Gestão de recursos hídricos; aspectos legais, econômicos e sociais*. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos; Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa; Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2000. 659 p.

GOEPEL, K.D. **Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS)**. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, Vol. 10 Issue 3 2018, pp 469-487.

GOES, F. A. **Gestão de Reservatórios com Sistema de Apoio à Decisão Espacial: o Caso do Açude Castanhão**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia. Fortaleza, 2012. 166p.

GOMES, L. F. M., MOREIRA, A. M. M. **Da informação à tomada de decisão: agregando valor através dos métodos multicritério**. In: RECITEC, Recife, v. 2, n. 2, p. 117-139, 1998.

GOMES, L. F. A. M. et al. **Tomada de decisões em cenários complexos**, Ed. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2004. 168 p.

GONÇALVES, R. W. **Métodos multicritérios como apoio à decisão em comitês de bacias hidrográficas**. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Fortaleza, Fortaleza, 2001. 114p.

GOUVEIA, R.L.; PEDROSA, I.V. **Gestão das Políticas Governamentais para os Recursos Hídricos, Recife, Pernambuco, Brasil**. *Desenvolvimento em Questão*, v. 13, n. 32, p. 103-126. DOI: 10.21527/2237-6453.2015.32.103-126. 2015.

GRIGG, N. **Water resources management: principles, regulations and cases**. New York: McGraw-Hill, 540 p., 1996.

GWSP - Internacional Project Office of the Global Water System PROJECT. **Recomendações para a Rio+20 #1, Segurança hídrica para um planeta sob pressão**, 2012. 8 p.

HAJKOWICZ, S.; COLLINS, K. **A review of multiple criteria analysis for water resource planning and management**. *Water Resour. Manag.* 2007, 21, 1553–1566.

HAJKOWICZ, S.; HIGGINS, A. **A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management**. *Eur. J. Oper. Res.* 2008, 184, 255–265.

HORTON, R.E. **Drainage Basin Characteristics**. *Trans. American Geophysical Union*, , 1932, 13, 350-361.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Brasil em síntese**, 2022a. Disponível em: <<https://brasilemsintese.ibge.gov.br/educacao/taxa-de-analfabetismo-das-pessoas-de-15-anos-ou-mais.html>>. Acesso em: 22 mai. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto**, 2022b. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php>>. Acesso em: 22 mai. 2022.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produto Interno Bruto dos Municípios**, 2022c. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5938>>. Acesso em: 22 mai. 2022.

IICA - Instituto Interamericano de Cooperação para A Agricultura / EMBASA - Empresa Baiana de Águas e Saneamento. **Elaboração do projeto básico de ampliação do sistema de esgotamento sanitário de Camaçari e Dias D'Ávila e implantação da Estação de Tratamento de Esgotos – ETE Norte com uso e aproveitamento energético do biogás.** Fase 02 – Estudos de concepção e viabilidade - Produto 05 – Relatório de alternativas técnicas – Tomo II (Estimativa de Custos). Elaborado pelo Consórcio TPF-INCIBRA-INNCIVE, 2019.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1991-2020**, Organizadores: Marcia dos Santos Seabra, Edmundo Wallace Monteiro Lucas, Brasília/DF, Brasil, 2022. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 19 mai. 2022.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Geologia e Geomorfologia, 2016**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/DSR/areas-de-atuacao/topicos-de-pesquisa/geologia-geomorfologia>>. Acesso em: 19 mai. 2022.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Geologia e Geomorfologia, 2022**. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/DSR/areas-de-atuacao/topicos-de-pesquisa/geologia-geomorfologia#:~:text=A%20Geomorfologia%20estuda%20a%20origem,por%20fatores%20end%C3%B3genos%20e%20ex%C3%B3genos>>. Acesso em: 25 mai. 2022.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Índice de Gini, 2004**. Ano 1. Edição 4. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_contentid=2048:catid=28#:~:text=O%20C3%8Dndice%20de%20Gini%2C%20criado,apresentam%20de%20zero%20a%20cem>. Acesso em 25 mai.2022.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Índice de Pobreza, 2007**. Ano 4. Edição 30. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/desafios/index.php?option=com_contentid=1132:reportagens-materias>. Acesso em 25 mai.2022.

IORIS, A. Desenvolvimento nacional e gestão de recursos hídricos no Brasil. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, n. 85, p. 23-41, 2009.

JABER, J.; MOHSEN, M. **Evaluation of non-conventional water resources supply in Jordan**. Desalination. 2001, 136, 83–92.

KABIR, G.; SADIQ, R.; TESHAMARIAM, S. **A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management**. Struct. Infrastruct. Eng. 2014, 10, 1176–1210.

KANG, M.-G.; LEE, G.-M. **Multicriteria Evaluation of Water Resources Sustainability in the Context of Watershed Management**. JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc. 2011, 47, 813–827.

KIM, Y.; CHUNG, E.-S.; JUN, S.-M.; KIM, S.U. **Prioritizing the best sites for treated wastewater instream use in an urban watershed using fuzzy TOPSIS**. Resour. Conserv. Recycl. 2013, 73, 23–32.

KODIKARA, P.N.; PERERA, B.J.C.; KULARATHNA, M.D.U.P. **Stakeholder preference elicitation and modelling in multi-criteria decision analysis—A case study on urban water supply**. Eur. J. Oper. Res. 2010, 206, 209–220.

- LAFAYETTE, F. B. **Proposta e avaliação de modelo de gestão de abastecimento de água no meio rural no estado de Pernambuco.** / Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CTG. Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil, Recife, 2022, 156 p.
- LAI, E.; LUNDIE, S.; ASHBOLT, N. J. **Review of multi-criteria decision aid for integrated sustainability assessment of urban water systems.** Urban Water J. 2008, 5, 315–327.
- LANNA, A. E. **Gestão das águas.** Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Notas de aulas. 1999.
- LIENERT, J.; SCHOLTEN, L.; EHHHER, C.; MAURER, M. **Structured decision-making for sustainable water infrastructure planning and four future scenarios.** EURO J. Decis. Process. 2015, 242, 107–140.
- LIMA, D. A. **Estudos Fitogeográficos de Pernambuco.** Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, Recife, Vol. 04, p. 243-274. 2007.
- LINS, C. J. C.; BURGOS, I. S. **Espaços Rurais do Nordeste: Subsídios para uma Política Espacial.** Recife: SUDENE, CPR, Div. Pol. Espaciais, 1985. 50. Acesso em: 22 mai. 2022.
- LINSLEY, R.K. Jr. et al. **Hydrology for Engineers.** 2nd ed. New York: McGraw-Hill (McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering), 1975.
- LOPES, K. G. O., COELHO, M. M. L. P.; LIBÂNIO, M. **Aplicação do Método da Análise Hierárquica na Priorização da Reabilitação de Redes de Distribuição de Água.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 16 n.4 - Out/Dez 2011, 181-194
- MAPBIOMAS. **Coleções Mapbiomas,** 2020. Disponível em: <https://storage.googleapis.com/mapbiomaspublic/brasil/collection/lclu/coverage/brasil_coverage_2020.tif>. Acesso em 15 mai. 2022.
- MARTIN, C.; RUPERD, Y.; LEGRET, M. **Urban stormwater drainagemanagement: The development of amulticriteria decision aid approach for best management practices.** Eur. J. Oper. Res. 2007, 181, 338–349.
- MATEUS, G. R., LUNA, H. P. L., **Programação Não Linear.** Belo Horizonte, UFMG.1986
- MDR - Ministério do Desenvolvimento Regional. **Metodologia de Definição de Áreas Prioritárias para Recuperação Ambiental. Relatório Final. Juntos pelo Araguaia.** 2020. Disponível em: https://www.meioambiente.gov.br/files/Juntos_Araguaia/04_Areas_Prioritarias.pdf.
- MDR - Ministério do Desenvolvimento Regional. **Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas (PNRBH).** Elaborado pelo Consórcio Profill–TPF, Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/seguranca-hidrica/bacias-hidrograficas/produtos-documento-base>
- MELO, C. R. **Análise do eixo leste da transposição do Rio São Francisco face aos cenários de uso previstos.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2010. 178p.

MENDOZA, G. A.; MACOUN, P.; PRABHU, R.; SUKADRI, D.; PURNOMO, H.; HARTANTO, H. **Guidelines for applying multi-criteria analysis to de assessment of criteria and indicators**. Jacarta: Center for International Forestry Research, 1999.

MIN - Ministério da Integração Nacional. **Relatório de Impacto Ambiental (RIMA) – Sistema Adutor do Agreste Pernambucano**. Elaborado pelo Consórcio Conestoga-Rovers e Associados Ltda. e Engecorps Engenharia S.A, Brasília, DF, 2008. 77p.

MONTENEGRO, A.A.A; MONTENEGRO, S. M. G. L. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o Semiárido. **IN: Recursos hídricos em regiões semiáridas**, 2012.

MORISAWA, M. **Streams: their Dynamics and Morphology**. McGraw-Hill Book Co., New York, 1968. 174 p.

MS - Ministerio da Saúde. **Mortalidade infantil no Brasil**, Boletim epidemiológico, Volume 52. Out. 2021. Disponível em: < https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins/boletins-epidemiologicos/edicoes/2021/boletim_epidemiologico_svs_37_v2.pdf/view >. Acesso em 5 mai. 2022.

OKEOLA, O. G.; SULE, B.F. **Evaluation of management alternatives for urban water supply system using Multicriteria Decision Analysis**. J. King Saud Univ. Eng. Sci. 2012, 24, 19–24.

ONU - Organização das Nações Unidas. **Planet Under Pressure; Recomendações para a Rio + 20; Segurança Hídrica para um Planeta Sob Pressão**. 2012 Disponível em: <http://www3.inpe.br/igbp/arquivos/Water_FINAL_LR-portugues.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2021.

ONU BR - Organização das Nações Unidas no Brasil. **Articulando os Programas de Governo com a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: orientações para organizações políticas e a cidadania**. Equipe de País da ONU no Brasil, 2018, 86p.

ORTOLANO, L. **Environmental regulation and impact assessment**. Ed. John Wiley e Sons inc. 604p., 1997 apud CASTRO, L. M. A. Proposição de metodologia para avaliação da sustentabilidade da implantação de empreendimentos de desenvolvimento urbano, Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Univer- sidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007

PEDROSA, V. **O custo da água: fundamentos da engenharia econômica aplicados à infraestrutura hídrica**. Vitória, Ed. do Autor, 2021, 101 p.

PERNAMBUCO. Secretaria Estadual de Saúde. Secretaria Executiva de Vigilância em Saúde. **Plano Integrado de Ações para o Enfretamento às Doenças Negligenciadas no Estado de Pernambuco/ SANAR – 2015 – 2018**. Série A. Normas e Manuais Técnicos, Recife, 2015. 46p.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Susceptibilidade à pobreza**, 2010. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>>. Acesso em: 23 mai. 2022.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Taxa de mortalidade infantil**, 2017. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>>. Acesso em: 23 mai. 2022.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas Brasil**, 2022. Disponível em: <<http://www.atlasbrasil.org.br/consulta/planilha>>. Acesso em: 23 mai. 2022.

PORTO, R. L. L.; AZEVEDO, L. G. T. **Sistemas de Suporte a Decisões Aplicadas a Problemas de Recursos Hídricos**. In: TÉCNICAS quantitativas para o gerenciamento de recursos hídricos. 2^a. ed. Porto Alegre: Editora da Universidade/ UFRGS — ABRH. 2002.

RIBEIRO, M. M. R., **Operação de um sistema de reservatórios para usos de conservação**. Campina Grande: UFPB – Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Recursos Hídricos, 1990. 171p.

ROY, B. **Paradigms and challenges**. In **Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys**; Figueira, J., Greco, S., Ehrgott, M., Eds.; Springer Science + Business Media, Inc.: Boston, MA, USA, 2005; pp. 19–39. ISBN 978-0-387-23067-2.

SAATY, T. L. **How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process**. European Journal of Operational Research, 48, p.9-26, 1990.

SAATY, T. L. **Método de Análise Hierárquica**, Ed. McGraw- Hill, São Paulo, 1991. 367 p.

SAATY, T. L. - **Decision making with the analytic hierarchy process**, International Journal of Services Sciences, v. 1, n. 1, p.83– 98, 2008.

SCHMIDT, A. M. A. **Processo de apoio à tomada de decisão – Abordagens: AHP e MACBETH**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Florianópolis: UFSC, 1995

SCHOLTEN, L.; SCHUWIRTH, N.; REICHERT, P.; LIENERT, J. **Tackling uncertainty in multi-criteria decision analysis—An application to water supply infrastructure planning**. Eur. J. Oper. Res. 2015, 242, 243–260.

SEINFRA-PE - Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco –. **Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH|PE**. Elaborado pelo Consórcio Profill-AlfaSigma, Recife, PE, 2022. Disponível em <https://www.perhpe.com.br/downloads> . Último acesso em 30/07/2022.

SENA, L. M. M. **Bioma Caatinga**. Vol. 1. Fortaleza: Associação Caatinga, 2011. Acesso em: 23 mai. 2022.

SHANNON, M.A.; BOHN, P.W.; ELIMELECH, M.; GEORGIADIS, J.G.; MARINAS, B.J.; MAYES, A.M. **Science and technology for water purification in the coming decades**. Nature, 2008, 452, 301–310.

SILVA, S. R.; CIRILO, J. A. O Planejamento de Recursos Hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. REGA. **Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v. 8, p. 47-64, 2011

SILVA, T. B., BELLO, M. I. M. C. V., FERREIRA, S. R. M. Correlações das classes pedológicas com características geotécnicas aplicadas ao uso e ocupação do solo. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, n. 3, 2020, 346–358.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Série histórica**, 2020. Disponível em: <<http://app4.mdr.gov.br/serieHistorica/#>>. Acesso em: 19 mai. 2022.

SRHE – Secretaria de Recursos Hídricos e Energéticos de Pernambuco. **Estudo hidrogeológico da bacia sedimentar do Jatobá: Relatório final: texto**. Recife: SRHE. 2 v. 424 p. 2010.

TRENTIN, R.; ROBAINA, L. E. de S. **Metodologia para Mapeamento Geoambiental no Oeste do Rio Grande do Sul**. In: XI Congresso Brasileiro de geografia Física Aplicada. São Paulo. Anais. São Paulo, pp. 3606-3615, 2005.

VALE. **Projeto de Descaracterização da Barragem de Peneirinhas**. Projeto Conceitual, Utilidades, Barragem, Relatório Matriz de Análise Múltiplas Alternativas, Relatório Técnico. Elaborado por TPF Engenharia Ltda. Nova Lima, MG, 2022, 77 p.

VILAS BOAS, C. L. **Modelo multicritérios de apoio à decisão aplicado ao uso múltiplo de reservatórios: estudo da barragem do ribeirão João Leite**. Dissertação (Mestrado em Gestão Econômica do Meio Ambiente) - Programa de Pós-Graduação em Economia – Departamento de Economia da Universidade de Brasília, por intermédio do Centro de Estudos em Economia, Meio Ambiente e Agricultura (CEEMA), 2006. 145p.

VILELLA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

ZHENG, J.; EGGER, C.; LIENERT, J. **A scenario-based MCDA framework for wastewater infrastructure planning under uncertainty**. J. Environ. Manag. 2016, 183, 895–908.

APÊNDICE A – Documento de apoio à consulta para aplicação do método multicritério
AHP de suporte à decisão

Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos

**Sistema de Suporte à Decisão para Implantação da 2ª Etapa do
Sistema Adutor do Agreste Pernambucano**

Mestrando: Marcelo Casiuch

Orientador: Prof. Dr. Júlio Cesar da Silva

Coorientadora: Prof^ª Dr^ª Roberta de Melo Guedes Alcoforado

Atividade: Consulta a gestores e especialistas para aplicação do método

multicritério AHP

(Processo Analítico Hierárquico)

Rio de Janeiro, RJ

2023

DOCUMENTO DE APOIO À CONSULTA PARA APLICAÇÃO DO MÉTODO MULTICRITÉRIO AHP DE SUPORTE À DECISÃO

1 OBJETIVO DA CONSULTA

O objetivo da consulta é a definição de pesos para as variáveis a serem integradas em um modelo multicritério de decisão voltado à priorização de implantação dos trechos da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano (SAAP), considerando a percepção dos participantes, incluindo representantes do poder público e especialistas relacionados ao tema da gestão dos recursos hídricos no Estado de Pernambuco. A 1ª Etapa do SAAP já se encontra em fase avançada de implantação e operação.

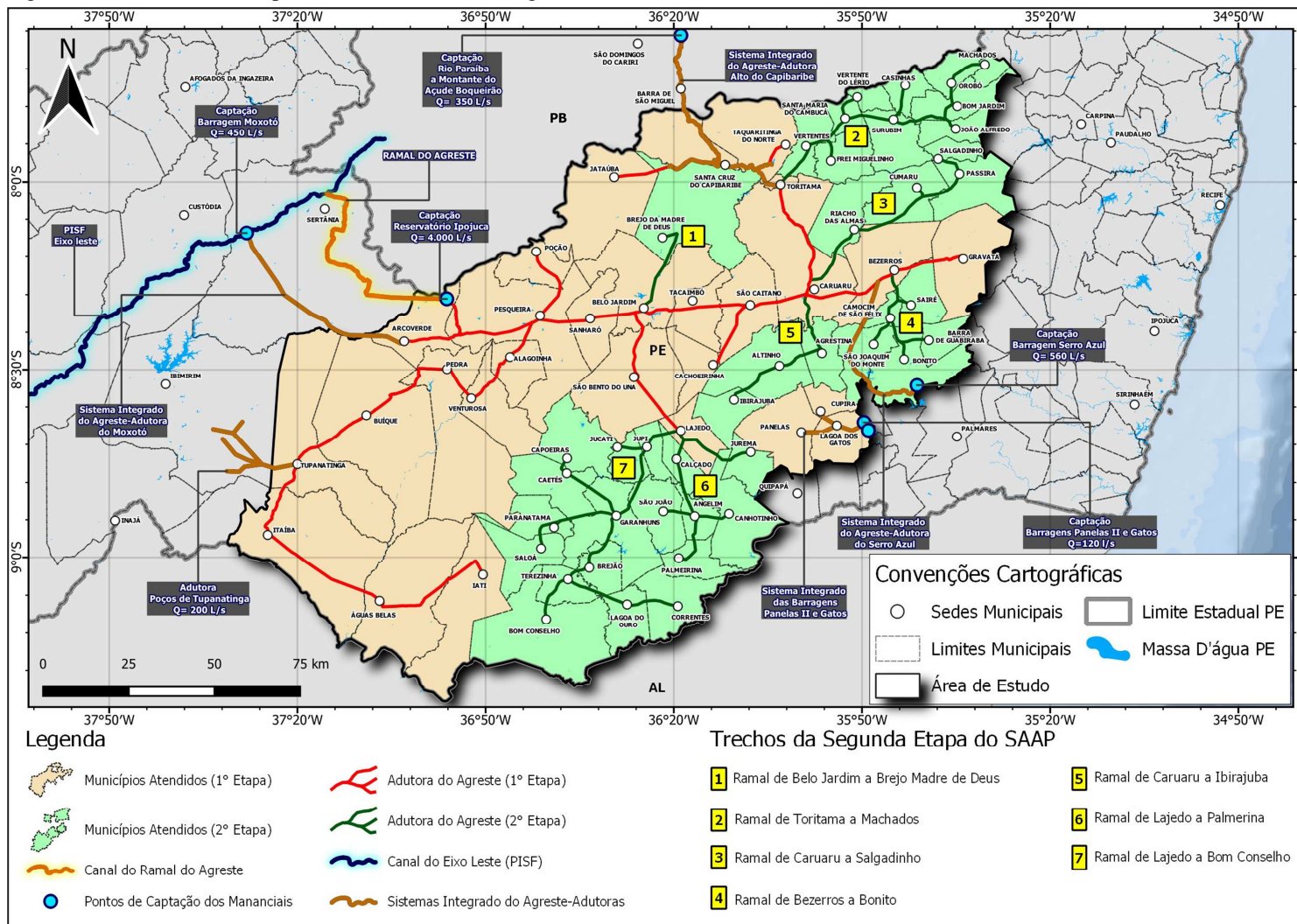
2 METODOLOGIA A SER EMPREGADA

A metodologia a ser empregada consiste na aplicação de método multicritério AHP (Processo Analítico Hierárquico), que converte em pesos numéricos a percepção de um conjunto de pessoas sobre a importância relativa de variáveis ou fatores. Foram selecionadas variáveis-chave para a temática da avaliação, considerando informações disponíveis para todos os trechos da 2ª Etapa do SAAP, apresentados na **Figura 1**.

Para se definir os critérios e subcritérios relevantes para a tomada de decisão, levou-se em conta questões como a necessidade de universalização do acesso à água e ao saneamento, como um direito humano; a segurança hídrica, tanto na produção de água tratada, quanto na sua distribuição; a preservação dos ecossistemas, evitando-se o consumo de água proveniente de fontes contaminadas e a melhoria no gerenciamento das perdas de água; a questão saúde e da educação, uma vez que baixas taxas de saneamento e má distribuição de água têm correlação direta com a transmissão de doenças de veiculação hídrica, expondo os indivíduos a riscos de saúde evitáveis. O acesso à água potável pode ainda resultar em redução na mortalidade infantil e no aumento da frequência escolar, reduzindo-se assim o analfabetismo (ANA, 2021; SEINFRA-PE, 2022).

Nesse contexto, levou-se ainda em conta a questão da otimização da aplicação dos recursos financeiros para a implantação dos sistemas de produção e distribuição de água, com vistas à seleção final de critérios e subcritérios do modelo, aqui transformados nas **dimensões** e **variáveis**, apresentadas no **Quadro 1**, para a aplicação na avaliação multicritério do sistema de tomada de decisão.

Figura 1 – Trechos da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano (SAAP)



Fonte: O autor, 2023..

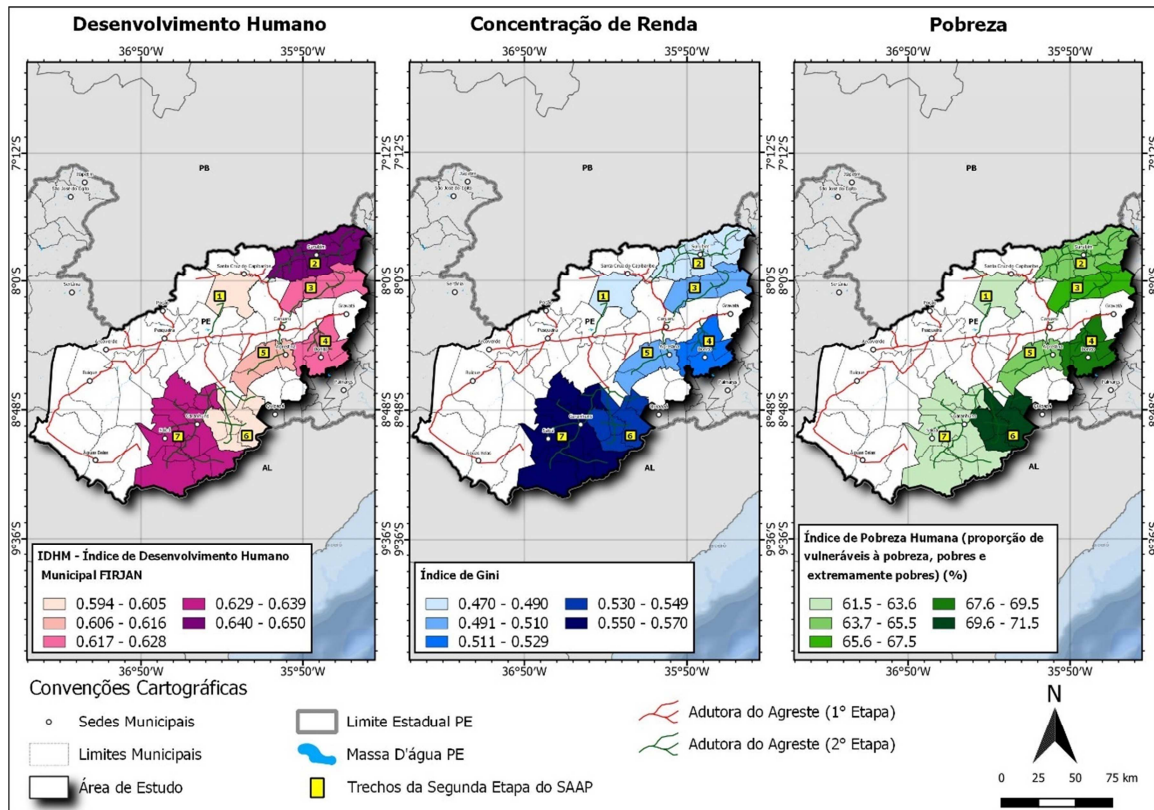
Quadro 1 – Dimensões, variáveis, indicadores e bases de dados selecionados para a avaliação multicritério.

| DIMENSÃO | VARIÁVEL | INDICADOR | BASE DE DADOS |
|------------------------|--|--|--------------------------------------|
| DESENVOLVIMENTO HUMANO | Desenvolvimento Humano | IDHM - Índice de Desenvolvimento Humano Municipal FIRJAN | SEINFRA-PE, 2022 |
| | Concentração de Renda | Índice de Gini | SEINFRA-PE, 2022 |
| | Pobreza | Índice de Pobreza Humana (proporção de vulneráveis à pobreza, pobres e extremamente pobres) (%) | SEINFRA-PE, 2022 |
| EDUCAÇÃO E SAÚDE | Analfabetismo | Taxa de analfabetismo da população com 15 anos de idade ou mais (%) | SEINFRA-PE, 2022 |
| | Mortalidade Infantil | Taxa de mortalidade infantil (%) | SEINFRA-PE, 2022 |
| | Doenças de Veiculação Hídrica | Priorização de combate a doenças de veiculação hídrica | SEINFRA-PE, 2022 |
| FINANCEIRA | Investimentos na implantação da 2ª Etapa do SAAP | Custo do trecho por habitante da população urbana a ser atendida em 2035 (R\$/hab) | COMPESA, 2012 (atualizado para 2022) |
| | Investimentos em Ampliação dos Sistemas de Distribuição de Água | Custo de ampliação do sistema de distribuição de água por habitante da população urbana a ser atendida em 2035 (R\$/hab) | ANA, 2021 |
| | Investimentos em Reposição dos Sistemas de Distribuição de Água | Custo de reposição do sistema de distribuição de água por habitante da população urbana a ser atendida em 2035 (R\$/hab) | ANA, 2021 |
| HÍDRICA | Segurança Hídrica das Cidades | Índice de vulnerabilidade quantitativo dos mananciais e sistemas de produção de água | ANA, 2021 |
| | Performance Técnica do Gerenciamento de Perdas de Água | Categoria de performance técnica do gerenciamento de perdas de água | ANA, 2021 |
| | Atendimento do Sistema de Abastecimento de Água à População Urbana | Taxa de cobertura da rede de distribuição urbana de água (%) | SEINFRA-PE, 2022 |
| ECOSSISTÊMICA | Qualidade da água nos mananciais que abastecem os municípios | Indicador de vulnerabilidade da qualidade de água dos mananciais | ANA, 2021 |
| | Atendimento do Sistema de Esgotamento Sanitário à População urbana | Taxa de cobertura da rede urbana de esgotamento sanitário (%) | SEINFRA-PE, 2022 |
| | Atendimento do Sistema de Drenagem Urbana | Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana (%) | SNIS, 2020 |

Fonte: O autor, 2023..

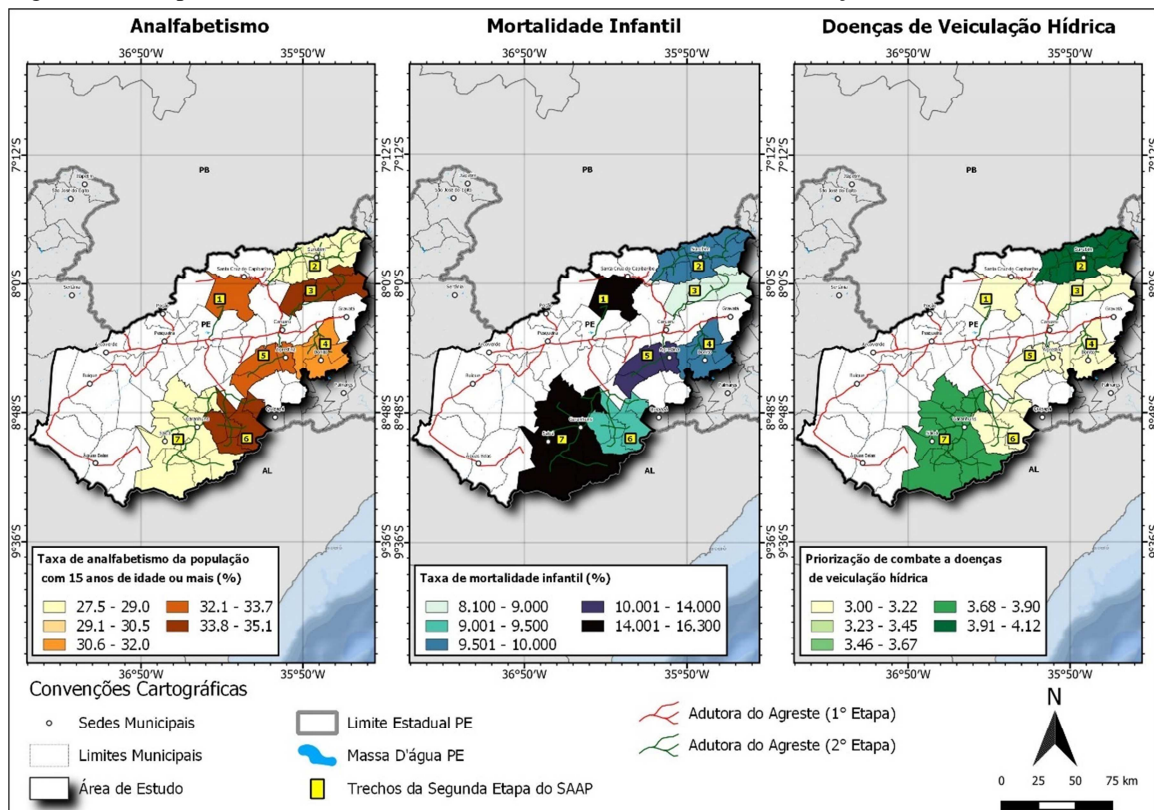
Nas Figuras 2 a 6 podem ser verificados os comportamentos das quinze variáveis selecionadas nas cinco dimensões, para os sete trechos da 2ª Etapa do SAAP.

Figura 2 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão de Desenvolvimento Humano



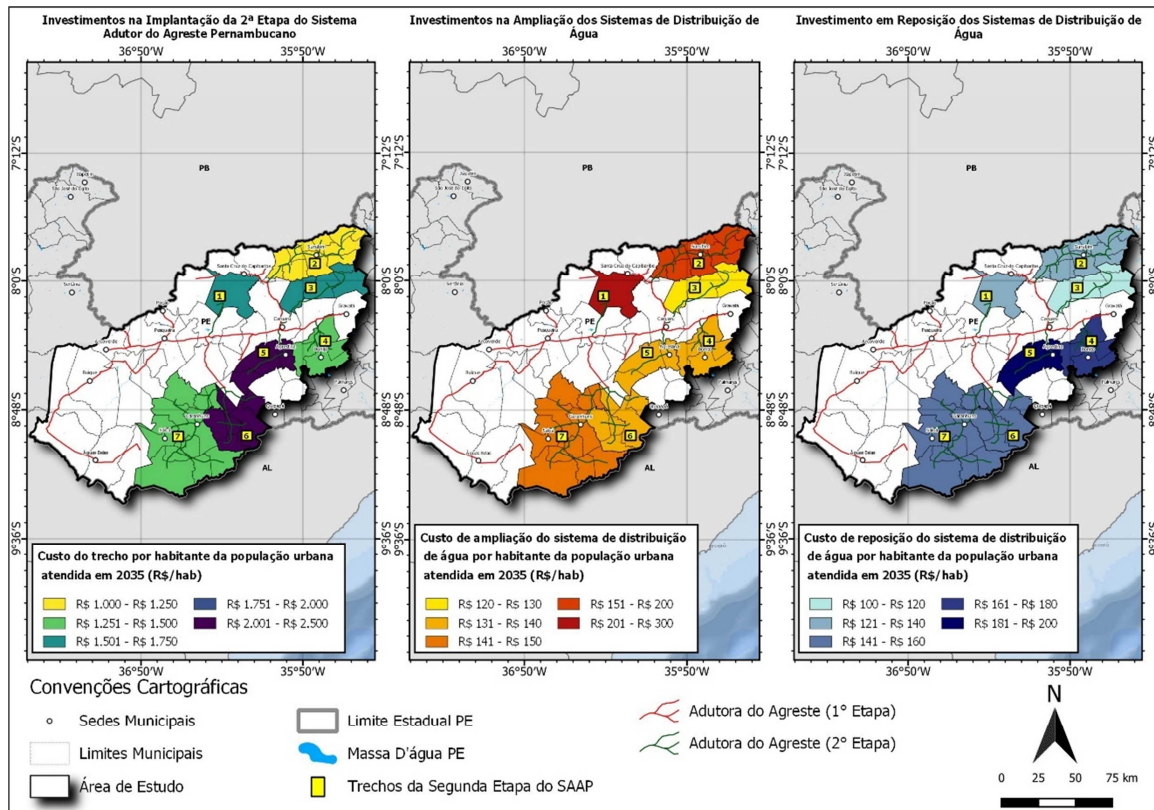
Fonte: O autor, 2023..

Figura 3 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão de Educação e Saúde



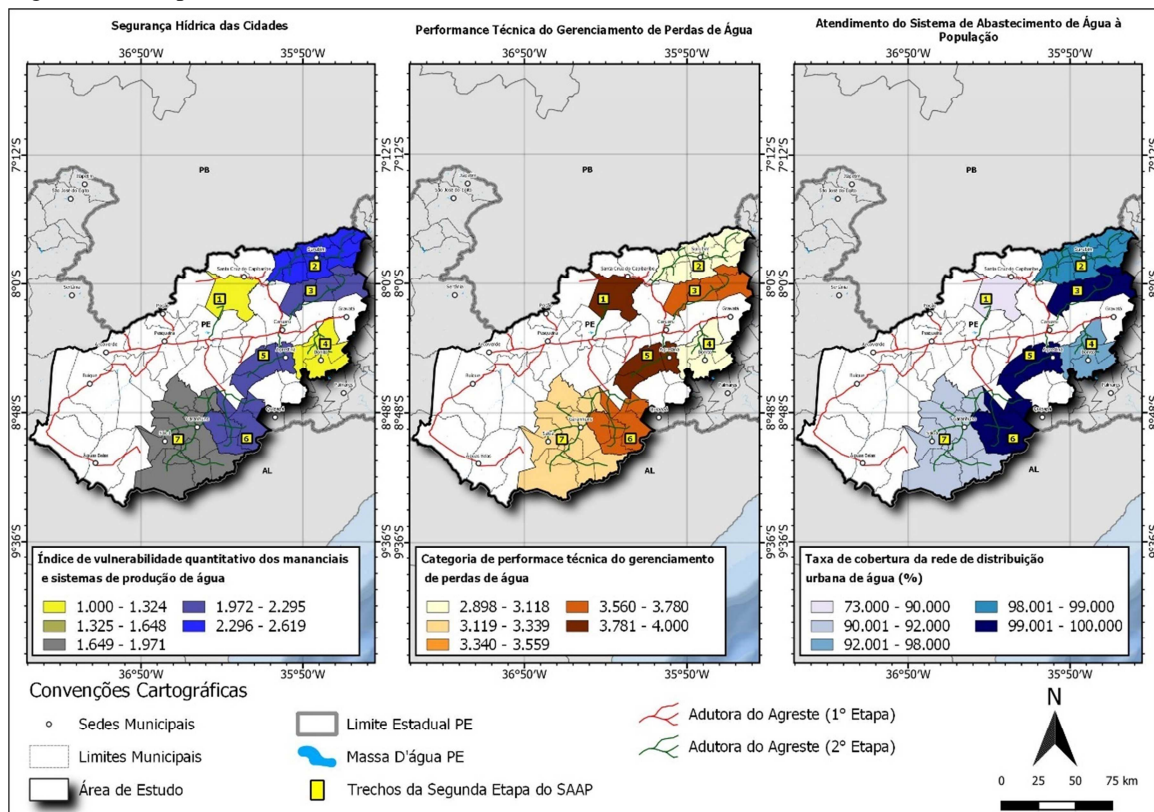
Fonte: O autor, 2023..

Figura 4 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão Financeira



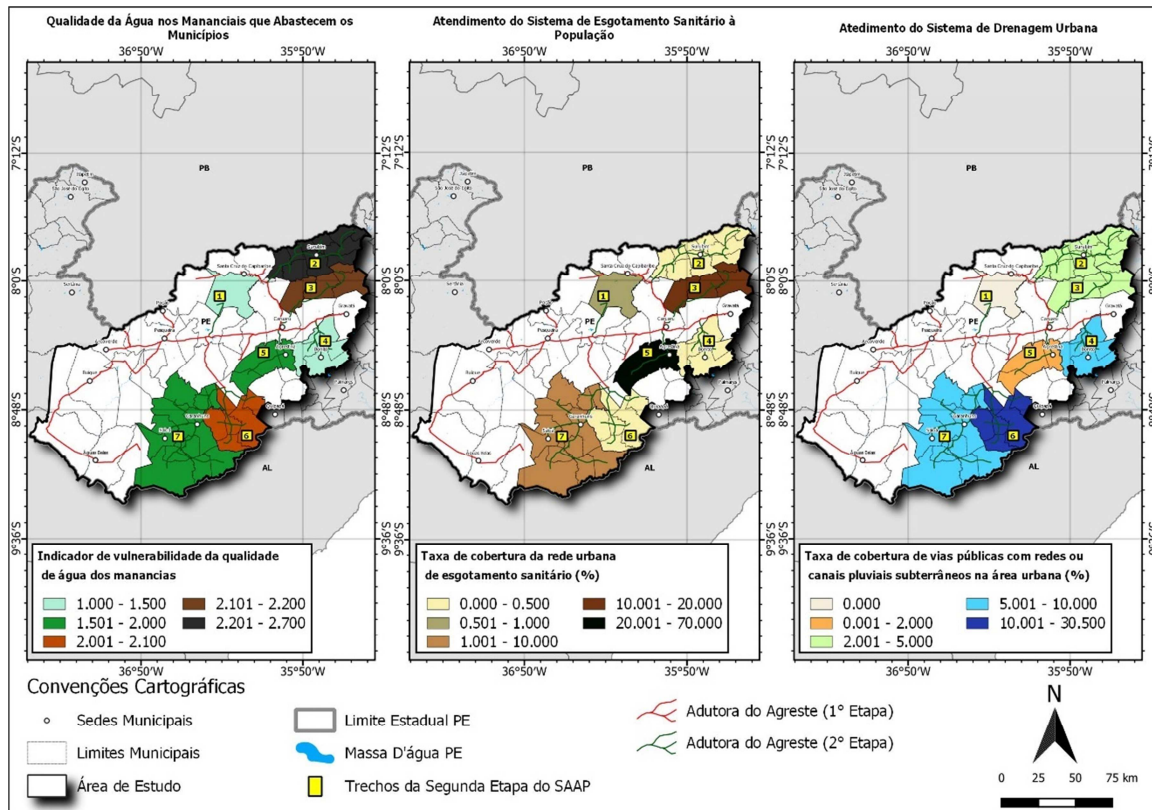
Fonte: O autor, 2023..

Figura 5 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão Hídrica



Fonte: O autor, 2023..

Figura 6 – Comportamento das variáveis selecionadas na Dimensão Ecológica



Fonte: O autor, 2023..

Considerando a diversidade dos temas abordados, as variáveis foram padronizadas para uma escala comum adimensional de 0 a 100, o que permite a sua combinação e comparação entre si, mantendo sua condição numérica. Para as variáveis em que se priorizem os menores valores, como as da dimensão Financeira, relacionadas a investimentos, se aplicou a escala inversa, com o valor 100 apontado para o menor valor da variável e 0 para o maior.

No AHP, as variáveis e dimensões são confrontadas aos pares e classificadas conforme a escala do **Quadro 2**, chamada de Escala de Saaty (SAATY, 2008):

Quadro 2 - Escala de Saaty.

| 1/7 | 1/3 | 1 | 3 | 7 |
|---|---|--|--|--|
| A variável A é muito menos significativa que a variável B | A variável A é menos significativa que a variável B | As variáveis são igualmente significativas | A variável A é mais significativa que a variável B | A variável A é muito mais significativa que a variável B |

Fonte: Saaty (2008).

Os valores de significância relativa entre os pares de variáveis e dimensões são representados em uma matriz de comparação (**Quadro 3**). Desse modo, o peso médio de

cada variável é obtido a partir da razão entre a soma dos valores de cada linha e a soma dos valores do quadrado da matriz.

Quadro 3 – Exemplo de matriz de comparação cruzada entre as variáveis.

| Variável | A | B | C |
|----------|---|-----|---|
| A | 1 | 1/3 | 1 |
| B | 3 | 1 | 7 |
| C | 1 | 1/7 | 1 |

Fonte: Saaty (2008).

Com base na Escala de Saaty, para os pares de variáveis e dimensões, será feita a pergunta: “**A variável A é _____ que a variável B?**”, com as opções de respostas:

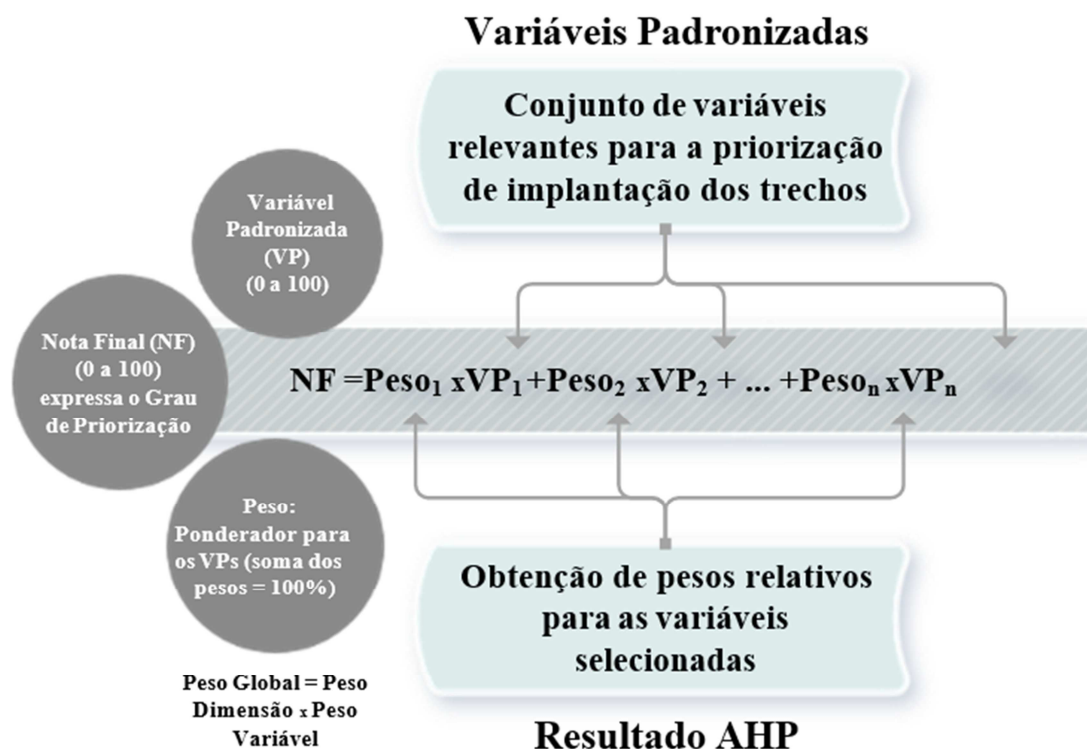
- a) Muito mais significativa;
- b) Mais significativa;
- c) Igual significância;
- d) Menos significativa;
- e) Muito menos significativa.

Na consulta através do formulário, serão realizadas **um total de 25 perguntas** confrontando-se as variáveis ou dimensões aos pares (15 perguntas para as variáveis e 10 perguntas para os cruzamentos entre as dimensões), conforme segue:

- Dimensão de Desenvolvimento Humano (3 variáveis): 3 perguntas
- Dimensão de Educação e Saúde (3 variáveis): 3 perguntas
- Dimensão Financeira (3 variáveis): 3 perguntas
- Dimensão Hídrica (3 variáveis): 3 perguntas
- Dimensão Ecológica (3 variáveis): 3 perguntas
- Inter Dimensões (5 dimensões): 10 perguntas

A classificação permitirá a obtenção de pesos relativos entre as variáveis e dimensões. O peso da variável e da dimensão será aplicado sobre o valor padronizado das variáveis. Os valores obtidos para todas as variáveis serão somados em um número que compõe uma “nota final” do trecho da 2ª Etapa do SAAP, como representa a **Figura 7**.

Figura 7 – Cálculo da Nota Final de priorização dos trechos para implantação da 2ª Etapa do SAAP



Fonte: BID (2022).

3 RESULTADOS ESPERADOS

Ao final da consulta, a hierarquização dos trechos da 2ª Etapa do SAAP será consolidada, com base nos pesos relativos para as variáveis selecionadas, definido pelo método AHP por meio das informações coletadas através do formulário.

Desse modo, **o trecho da 2ª Etapa do SAAP com maior nota final será elencado como prioritário**, frente às percepções de importância e valores das variáveis empregados. Os demais trechos com notas finais inferiores, serão ordenados sequencialmente, da maior para a menor nota, de forma a subsidiar o planejamento para a implantação de todos os trechos da 2ª Etapa do SAAP, em apoio à tomada de decisão dos gestores envolvidos na realização dessa infraestrutura hídrica, de considerável importância para o desenvolvimento da região do Agreste Pernambucano.

4 FORMULÁRIO DE CONSULTA

O formulário de consulta com as 25 perguntas relacionadas ao grau de relevância entre as variáveis selecionadas pode ser acessado através do seguinte link:

<https://forms.gle/g3UvMXghCU1GbuHu9>

5 REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas águas: segurança hídrica do abastecimento urbano.** Elaborado pelo Consórcio Engecorps-TPF-Profill, Brasília, 2021. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/metadata/d77a2d01-0578-4c71-a57e-87f5c565aacf>. Acesso em 15/10/2022.

BID - Banco Interamericano de Desenvolvimento. **Prestação de serviços de apoio na implementação das ações chave do Plano de Gestão de Recursos Hídricos da Região Hidrográfica do Rio Paraguai – Componente 4 – Workshop 01.** Elaborado pelo Consórcio TPF-Profill, Washington, 2022.

COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento. **Elaboração do Projeto Básico, Estudos Complementares e Plano de Educação Sócio-Ambiental do Sistema Adutor do Agreste no Estado de Pernambuco.** Elaborado pelo Consórcio Concremat-Projetec-Engeconsult, Recife, 2012.

SAATY, T. L. **Decision making with the analytic hierarchy process.** International Journal of Services Sciences, v. 1, n.1, 2008.

SEINFRA-PE. Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco. **Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH|PE.** Elaborado pelo Consórcio Profill-AlphaSigma, Recife, 2022. Disponível em <https://www.perhpe.com.br/downloads>. Acesso em 16/12/2022.

APÊNDICE B – Formulário de consulta

20/01/2023 15:31

Sistema de Suporte à Decisão para Implantação da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano

Sistema de Suporte à Decisão para Implantação da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano

 marcelo.casiuch@profagua.uerj.br (não compartilhado)
[Alternar conta](#)

*Obrigatório

CONSULTA DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA AHP

Digite seu nome e instituição/empresa em que atua

Nome *

Sua resposta

Instituição/Empresa *

Sua resposta

[Próxima](#)

Página 1 de 3

[Limpar formulário](#)

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Este formulário foi criado fora de seu domínio. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Política de Privacidade](#)

Google Formulários



<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfw59-JqGAPCW1v7Dgjl-v4JaP5NYW1oKhD-zuqJi9FnUocng/viewform>



1/8

Fonte: O autor, 2023.

20/01/2023 15:33

Sistema de Suporte à Decisão para Implantação da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano

Sistema de Suporte à Decisão para Implantação da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano

 marcelo.casiuch@profagua.uerj.br (não compartilhado)
Alternar conta



*Obrigatório

No que concerne às Variáveis, como critério de relevância das características da população e municípios selecionados para a priorização da implantação dos trechos da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano, em sua avaliação:

O Desenvolvimento Humano é _____ que a Concentração de Renda? *

- (a) Muito mais significativo
- (b) Mais significativo
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativo
- (e) Muito menos significativo

O Desenvolvimento Humano é _____ que a Pobreza? *

- (a) Muito mais significativo
- (b) Mais significativo
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativo
- (e) Muito menos significativo

A Concentração de Renda é _____ que a Pobreza? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa



<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfw59-JqGAPCW1v7Dgjl-v4JaP5NYW1oKhD-zuqJi9FnUocng/formResponse>



2/8

Fonte: O autor, 2023.

20/01/2023 15:33

Sistema de Suporte à Decisão para Implantação da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano

O Analfabetismo é_____ que a Mortalidade Infantil? *

- (a) Muito mais significativo
- (b) Mais significativo
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativo
- (e) Muito menos significativo

O Analfabetismo é_____ que as Doenças de Veiculação Hídrica? *

- (a) Muito mais significativo
- (b) Mais significativo
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativo
- (e) Muito menos significativo

A Mortalidade Infantil é_____ que as Doenças de Veiculação Hídrica? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

Os Investimentos na implantação da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano são_____ que os Investimentos na ampliação dos sistemas de distribuição de água? *

- (a) Muito mais significativos
- (b) Mais significativos
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativos
- (e) Muito menos significativos



20/01/2023 15:33

Sistema de Suporte à Decisão para Implantação da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano

Os Investimentos na implantação da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano são_____ que os Investimentos na reposição dos sistemas de distribuição de água? *

- (a) Muito mais significativos
- (b) Mais significativos
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativos
- (e) Muito menos significativos

Os Investimentos na ampliação dos sistemas de distribuição de água são_____ que os Investimentos na reposição dos sistemas de distribuição de água? *

- (a) Muito mais significativos
- (b) Mais significativos
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativos
- (e) Muito menos significativos

A Segurança hídrica nas cidades, relacionada à vulnerabilidade quantitativa dos mananciais e sistemas de produção de água, é_____ que Performance técnica do gerenciamento de perdas de água? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

A Segurança hídrica nas cidades, relacionada à vulnerabilidade quantitativa dos mananciais e sistemas de produção de água, é_____ que o Atendimento do sistema de distribuição de água à população? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

20/01/2023 15:33

Sistema de Suporte à Decisão para Implantação da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano

A Performance técnica do gerenciamento de perdas de água é _____ que o Atendimento do sistema de distribuição de água à população? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

A Qualidade da água, quanto à vulnerabilidade dos mananciais que abastecem os municípios, é _____ que o Atendimento do sistema de esgotamento sanitário à população? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

A Qualidade da água, quanto à vulnerabilidade dos mananciais que abastecem os municípios, é _____ que o Atendimento do sistema de drenagem urbana nas cidades? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

O Atendimento do sistema de esgotamento sanitário à população é _____ que o Atendimento do sistema de drenagem urbana nas cidades? *

- (a) Muito mais significativo
- (b) Mais significativo
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativo
- (e) Muito menos significativo

[Voltar](#)[Próxima](#)Página 2 de 3 [Limpar formulário](#)

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Este formulário foi criado fora de seu domínio. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Política de Privacidade](#)<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfw59-JqGAPCW1v7Dgjl-v4JaP5NYW1oKhD-zuqJi9FnUocng/formResponse>


5/8

Fonte: O autor, 2023.

20/01/2023 15:34

Sistema de Suporte à Decisão para Implantação da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano

Sistema de Suporte à Decisão para Implantação da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano

 marcelo.casiuch@profagua.uerj.br (não compartilhado)
[Alternar conta](#)



*Obrigatório

No que concerne às Dimensões, como critério de relevância das características da população e municípios selecionados para a priorização da implantação dos trechos da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano, em sua avaliação:

A Dimensão de Desenvolvimento Humano é_____ que a Dimensão de Educação * e Saúde?

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

A Dimensão de Desenvolvimento Humano é_____ que a Dimensão Financeira? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

A Dimensão de Desenvolvimento Humano é_____ que a Dimensão Hídrica? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa



<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfw59-JqGAPCW1v7Dgjl-v4JaP5NYW1oKhD-zuqJi9FnUocng/formResponse>



6/8

Fonte: O autor, 2023.

20/01/2023 15:34

Sistema de Suporte à Decisão para Implantação da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano

A Dimensão de Desenvolvimento Humano é_____ que a Dimensão Ecosistêmica? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

A Dimensão de Educação e Saúde é_____ que a Dimensão Financeira? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

A Dimensão de Educação e Saúde é_____ que a Dimensão Hídrica? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

A Dimensão de Educação e Saúde é_____ que a Dimensão Ecosistêmica? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

20/01/2023 15:34

Sistema de Suporte à Decisão para Implantação da 2ª Etapa do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano

A Dimensão Financeira é_____ que a Dimensão Hídrica? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

A Dimensão Financeira é_____ que a Dimensão Ecológica? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

A Dimensão Hídrica é_____ que a Dimensão Ecológica? *

- (a) Muito mais significativa
- (b) Mais significativa
- (c) Igual significância
- (d) Menos significativa
- (e) Muito menos significativa

[Voltar](#)[Enviar](#)Página 3 de 3 [Limpar formulário](#)

Nunca envie senhas pelo Formulários Google.

Este formulário foi criado fora de seu domínio. [Denunciar abuso](#) - [Termos de Serviço](#) - [Política de Privacidade](#)

Google Formulários

APÊNDICE C – Lista de consultados

| Nome | Instituição | Formação | Atividades relevantes relacionadas ao tema da dissertação |
|---|------------------------|-----------------------|--|
| Abmael de Sousa Lima Junior | TPF Engenharia | Eng. Civil, Mestrando | Coordenador adjunto do Atlas Águas (ANA, 2021); Coordenador dos projetos executivos de infraestruturas de abastecimento de água das comunidades diretamente afetadas com a implantação do projeto de integração do Rio São Francisco - PISF (MDR, 2023); membro da equipe do Projeto Básico, Estudos complementares e Plano de Educação Sócio Ambiental do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano (COMPESA, 2012). |
| Alerson Falieri Suarez | Atlas Renewable Energy | Geografia, MSc | Coordenador de Geoprocessamento do Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas (MDR, 2022); Especialista em geoprocessamento do diagnóstico e cadastro de usuários de águas superficiais na bacia do Capibaribe (SIRH-PE, 2018); membro da equipe de atualização e complementação do diagnóstico do Macrozoneamento Ecológico-Econômico da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (MMA, 2017). |
| Andresa Dornelas de Castro | TPF Engenharia | Eng. Civil, MSc | Membro das equipes técnicas dos Planos Regionais de saneamento básico das bacias hidrográficas dos rios Ipojuca e Capibaribe (COMPESA, 2021). |
| Antonio Eduardo Leão Lanna | AlfaSigma Consultoria | Eng. Civil, DSc | Coordenador Técnico do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (SEINFRA-PE, 2022); Coordenador Técnico do Plano Integrado de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos da bacia do rio Paranapanema (ANA, 2017); Coordenador Técnico do Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Araçuaí (IGAM, 2010). |
| Antônio Sérgio Caseira Gonçalves Torres | COMPESA | Eng. Civil, Esp. | Diretor de Operações na Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA e ex-membro da diretoria da Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC; Professor Adjunto da Universidade de Pernambuco, onde ministra as disciplinas de Saneamento e Instalações Prediais. |
| Bruno Marcionilo Silva | TPF Engenharia | Eng. Civil, MSc | Coordenador adjunto dos Planos Regionais de Saneamento Básico das Bacias Hidrográficas do Rio Ipojuca e do Rio Capibaribe (COMPESA, 2021); Coordenador adjunto do Plano de Desenvolvimento Hidráulico da Região de |

| Nome | Instituição | Formação | Atividades relevantes relacionadas ao tema da dissertação |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------|--|
| | | | Lambayeque, Peru (Queiroz Galvão, 2012); Membro da equipe técnica dos Planos Hidroambientais das Bacias Hidrográficas dos rios Capibaribe e Ipojuca (SRH-PE, 2010) |
| Carlos Ronei Bortoli | Profill Engenharia e Ambiente | Eng. Civil, MSc | Coordenador executivo do Atlas Águas (ANA, 2021); Coordenador Técnico da Atualização do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (SEINFRA-PE, 2022). |
| Fernando Schuh Rörig | Profill Engenharia e Ambiente | Eng. Ambiental | Responsável pela aplicação das metodologias Delphi e AHP para análises multicritério do Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas - PNRBH (MDR, 2022); Avaliação do histórico da revitalização da bacia do São Francisco como subsídio para a construção do Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas (2022). |
| João Joaquim Guimarães Recena | TPF Engenharia | Eng. Civil, MSc | Secretário de Minas e Energia (1988 a 1989), Secretário da Indústria, Comércio e Turismo (1989 a 1990) e Secretário de Planejamento (1996 a 1997) do Governo de Pernambuco; Direção Geral dos Estudos Hidrogeológicos dos Ambientes Cársticos da Bacia do São Francisco para a Gestão dos Recursos Hídricos (ANA, 2016); Coordenação Geral dos Estudos de Viabilidade e Projeto Básico da 1ª Etapa e Estudos Ambientais do Canal do Sertão Pernambucano (Codevasf, 2007); Direção Geral do Atlas das Obras Prioritárias para o Abastecimento d'Água para a Região Semiárida do Nordeste (ANA, 2005). |
| João Manoel Filho | Universidade Federal de Pernambuco | Hidrogeologia, DSc | Coordenador técnico dos estudos hidrogeológicos para delimitação do perímetro de segurança hídrica da Província Uranífera de Caetité - Lagoa Real (CERB, 2020); Coordenador técnico da Avaliação Hidrogeológica dos Sistemas Aquíferos Cársticos e Físsuro-Cársticos na Região Hidrográfica do São Francisco (ANA, 2017), com vistas à Gestão Integrada e Compartilhada dos Recursos Hídricos; Coordenador técnico da Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas (ANA, 2015); Coordenador técnico da Avaliação dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Proposição do Modelo de Gestão |

| Nome | Instituição | Formação | Atividades relevantes relacionadas ao tema da dissertação |
|--|------------------------------------|-----------------|--|
| | | | Compartilhada para os Aquíferos da Chapada do Apodi (ANA, 2010). |
| Marcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes | Universidade Federal de Pernambuco | Economia, DSc | Coordenadora de Projetos de Pesquisa para: Apoio à decisão na alocação economicamente eficiente das águas através de uma gestão integrada do uso da água e da terra, atendendo a restrições sociais e ambientais; Integração de modelos econômicos para apoio à decisão em políticas de alocação de águas; Solução de conflitos na alocação de águas em bacias interligadas usando modelagens participativas com o envolvimento dos principais interessados na gestão de recursos hídricos apoiados por modelos hidro-econômicos e sistemas automatizados; Sistema de apoio à decisão hidro-econômico para usos múltiplos da Água no Sub-Médio do São Francisco. |
| Marcos Oliveira Godoi | Engecorps | Eng. Civil, MSc | Coordenador executivo do Atlas Águas (ANA, 2021) e do Plano Nacional de Segurança Hídrica (ANA, 2019); Coordenador Geral do Projeto Executivo do Lote A do PISF - Eixo Norte (MDR, 2014); Membro da equipe do Atlas Brasil de Abastecimento Urbano de Água (ANA, 2010); Coordenador dos Estudos de Impacto Ambiental e Relatório de Impacto Ambiental do Canal e do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano (FUNCATE, 2009); Coordenador dos Estudos de Viabilidade Técnico-Econômica e Ambiental do Projeto de Transposição de Águas do Rio São Francisco para o Nordeste Setentrional - PISF (FUNCATE, 2000). |
| Maria Bernardete Sousa Sender | Engecorps | Eng. Civil, MSc | Coordenadora Geral do Atlas Águas (ANA, 2021); Coordenadora Geral dos Planos Regionais de Saneamento Básico das Bacias Hidrográficas do Rio Ipojuca e do Rio Capibaribe (COMPESA, 2021) Coordenadora Geral do Plano Nacional de Segurança Hídrica - PNSH (ANA, 2019); Coordenação Executiva do Atlas Brasil de Abastecimento Urbano de Água (ANA, 2010); Membro da equipe do Projeto Executivo do Lote A do PISF - Eixo Norte (MDR, 2014). |

| Nome | Instituição | Formação | Atividades relevantes relacionadas ao tema da dissertação |
|-------------------------------------|---|--------------------------------|---|
| Raimundo Eduardo Silveira Fontenele | Universidade Federal do Ceará | Economia, DSc | Coordenador do Projeto de Pesquisa para aplicação de métodos de valoração ambiental na avaliação de projetos (2015-atual); Coordenador do Estudo de Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental do Canal do Sertão Baiano, a partir do Rio São Francisco (Codevasf, 2015); Realização do diagnóstico do meio socioeconômico e estudo de demandas do Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (SRH-CE, 2005); Participação na elaboração do Plano de Desenvolvimento Regional do Governo do Ceará (SDLR-CE, 2003) |
| Ricardo Bruno Rodrigues da Silva | COBH Capibaribe | Ciências Biológicas, Mestrando | Vice-presidente do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Capibaribe - COBH Capibaribe, autor de trabalhos relativos à qualidade da água no rio Capibaribe e ao desenvolvimento sustentável da bacia do rio Capibaribe frente aos objetivos da Agenda 2030. |
| Roberta de Melo Guedes Alcoforado | Universidade de Pernambuco | Eng. Civil, DSc | Coordenadora técnica do Atlas Águas (ANA, 2021); Membro da equipe técnica do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (SEINFRA-PE, 2022); Coordenadora dos Planos Hidroambientais das Bacias Hidrográficas dos rios Capibaribe e Ipojuca (SRH-PE, 2010); Membro do Comitê da Bacia Hidrográfica do rio Capibaribe. |
| Sergio Rodrigues Ayrimoraes Soares | Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) | Eng. Civil, Doutorando | Superintendente de Planejamento de Recursos Hídricos da ANA (2013 a 2021), Atua como especialista da Superintendência de Estudos Hídricos e Socioeconômicos da ANA; Sob sua responsabilidade e participação ativa, foram realizados o Plano Nacional de Segurança Hídrica (2019), Atlas Águas (2010 e 2021), Atlas Esgotos (2017), Atlas Irrigação (2017 e 2021) e o Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2013 a 2021). |
| Sidnei Agra | Profill Engenharia e Ambiente | Eng. Civil, MSc | Coordenador do Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas - PNRBH (MDR, 2022); Membro da equipe do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Pernambuco (SEINFRA-PE, 2022); Consultor da Organização dos Estados Americanos (OEA) no Programa de Estruturação Institucional para a Consolidação da Política Nacional de Recursos Hídricos (OEA, 2006) |

| Nome | Instituição | Formação | Atividades relevantes relacionadas ao tema da dissertação |
|-----------------------------------|--|-----------------|--|
| Stella Emery Santana | Universidade Federal do Espírito Santo | Direito, DSc | Desenvolve pesquisa na área de Ambiental em caráter interdisciplinar, associada à participação pública e gestão integrada dos recursos hídricos e costeiros, em temas associados à água. Autora de trabalhos relacionados à perspectiva do desenvolvimento sustentável sob a ótica do direito ambiental, à gestão integrada de recursos hídricos e costeiros e aos aspectos legais da água como um direito humano de acordo com a Agenda 2030. |
| Telma Rocha Torreão | Consultora Autônoma | Eng. Civil, MSc | Superintendente de Projetos da Secretaria de Infraestrutura e Recursos Hídricos de Pernambuco (2021-2022); Coordenadora do gerenciamento, fiscalização, assessoria técnica e elaboração dos programas ambientais das obras de implantação do Sistema Adutor do Agreste Pernambucano (COMPESA, 2016); Coordenadora dos projetos executivos de infraestrutura de abastecimento de água das comunidades diretamente afetadas com a implantação do projeto de integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – PISF (DNOCS, 2015); Membro da equipe do Projeto Básico, Estudos complementares e Plano de Educação Sócio Ambiental do Sistema Adutor do Agreste (COMPESA, 2012). |
| Thiago Franklin Santos de Almeida | TPF Engenharia | Eng. Civil, MSc | Coordenador Adjunto do Programa Nacional de Revitalização de Bacias Hidrográficas - PNRBH (MDR, 2022); Membro da equipe do Atlas Águas (ANA, 2021); Coordenador técnico adjunto dos estudos hidrogeológicos para delimitação do perímetro de segurança hídrica da Província Urinífera de Caetité - Lagoa Real (CERB, 2020) |

Fonte: O autor, a partir de dados da Plataforma Lattes – CNPq, 2023.

ANEXO A – Tabelas Auxiliares

Tabela 20 - Projeção de crescimento populacional na região atendida pelo SAAP em 2020, 2035 e 2050

| Ano | Urbana | Rural | Total | Urbana (%) | Rural (%) |
|------------|---------------|--------------|--------------|-------------------|------------------|
| 2020 | 1.819.051 | 610.214 | 2.429.265 | 75% | 25% |
| 2035 | 2.026.627 | 539.771 | 2.566.398 | 75% | 25% |
| 2050 | 2.074.474 | 494.710 | 2.569.184 | 81% | 19% |

Fonte: ANA, 2021.

Tabela 21 - Projeção de crescimento populacional e sua distribuição em áreas urbanas e rurais em 2020 e 2050

| Município | População total 2020 | População total 2050 | População urbana 2020 (%) | População Rural 2020 (%) | População urbana 2050 (%) | População Rural 2050 (%) |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Agrestina | 25.302 | 26.790 | 82 | 18 | 85 | 15 |
| Águas Belas | 44.197 | 46.564 | 68 | 32 | 79 | 21 |
| Alagoinha | 14.856 | 15.930 | 60 | 40 | 70 | 30 |
| Altinho | 23.604 | 24.186 | 65 | 35 | 70 | 30 |
| Angelim | 11.336 | 11.991 | 70 | 30 | 80 | 20 |
| Arcoverde | 75.698 | 78.646 | 92 | 8 | 94 | 6 |
| Barra de Guabiraba | 14.632 | 15.462 | 75 | 25 | 95 | 5 |
| Belo Jardim | 77.919 | 81.479 | 87 | 13 | 92 | 8 |
| Bezerros | 62.209 | 64.152 | 90 | 10 | 92 | 8 |
| Bom Conselho | 49.433 | 51.881 | 71 | 29 | 79 | 21 |
| Bom Jardim | 40.107 | 41.307 | 46 | 54 | 58 | 42 |
| Bonito | 38.122 | 40.028 | 78 | 22 | 85 | 15 |
| Brejão | 9.034 | 9.432 | 45 | 55 | 57 | 43 |
| Brejo da Madre de Deus | 51.570 | 54.990 | 84 | 16 | 85 | 15 |
| Buíque | 59.332 | 63.222 | 48 | 52 | 59 | 41 |
| Cachoeirinha | 20.731 | 21.861 | 88 | 12 | 92 | 8 |
| Caetés | 29.233 | 30.812 | 37 | 63 | 58 | 42 |
| Calçado | 11.164 | 11.625 | 43 | 57 | 59 | 41 |
| Camocim de São Félix | 19.077 | 20.200 | 90 | 10 | 92 | 8 |

| Município | População total 2020 | População total 2050 | População urbana 2020 (%) | População Rural 2020 (%) | População urbana 2050 (%) | População Rural 2050 (%) |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Canhotinho | 25.105 | 27.752 | 65 | 35 | 70 | 30 |
| Capoeiras | 20.048 | 21.065 | 43 | 57 | 59 | 41 |
| Caruaru | 366.967 | 393.690 | 91 | 9 | 95 | 5 |
| Casinhas | 14.652 | 15.142 | 15 | 85 | 34 | 66 |
| Correntes | 18.504 | 19.517 | 68 | 32 | 79 | 21 |
| Cumaru | 10.616 | 2.598 | 59 | 41 | 60 | 40 |
| Cupira | 24.422 | 26.186 | 93 | 7 | 95 | 5 |
| Frei Miguelinho | 15.722 | 16.575 | 34 | 66 | 58 | 42 |
| Garanhuns | 142.213 | 149.837 | 90 | 10 | 93 | 7 |
| Gravatá | 85.477 | 90.565 | 93 | 7 | 95 | 5 |
| Iati | 19.604 | 20.280 | 48 | 52 | 58 | 42 |
| Ibirajuba | 7.959 | 8.165 | 52 | 48 | 60 | 40 |
| Itaíba | 26.629 | 28.603 | 42 | 58 | 57 | 43 |
| Jataúba | 17.497 | 18.145 | 67 | 33 | 70 | 30 |
| João Alfredo | 34.386 | 36.436 | 57 | 43 | 60 | 40 |
| Jucati | 11.626 | 12.234 | 31 | 69 | 50 | 50 |
| Jupi | 15.094 | 15.908 | 68 | 32 | 70 | 30 |
| Jurema | 15.670 | 16.318 | 66 | 34 | 77 | 23 |
| Lagoa do Ouro | 13.371 | 14.100 | 59 | 41 | 70 | 30 |
| Lagoa dos Gatos | 16.676 | 17.174 | 64 | 36 | 70 | 30 |
| Lajedo | 40.962 | 43.401 | 74 | 26 | 80 | 20 |
| Machados | 16.351 | 17.692 | 69 | 31 | 79 | 21 |
| Orobó | 24.396 | 25.228 | 51 | 49 | 60 | 40 |
| Palmeirina | 7.749 | 6.770 | 75 | 25 | 80 | 20 |
| Panelas | 26.579 | 27.766 | 65 | 35 | 70 | 30 |
| Paranatama | 11.450 | 12.041 | 29 | 71 | 57 | 43 |
| Passira | 29.284 | 32.274 | 56 | 44 | 69 | 31 |
| Pedra | 23.175 | 32.297 | 65 | 35 | 79 | 21 |
| Pesqueira | 68.554 | 72.229 | 72 | 28 | 75 | 25 |
| Poção | 11.398 | 12.245 | 68 | 32 | 79 | 21 |
| Riacho das | 20.912 | 21.980 | 56 | 44 | 60 | 40 |

| Município | População total 2020 | População total 2050 | População urbana 2020 (%) | População Rural 2020 (%) | População urbana 2050 (%) | População Rural 2050 (%) |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
| Almas | | | | | | |
| Sairé | 9.907 | 7.004 | 67 | 33 | 70 | 30 |
| Salgadinho | 11.098 | 11.979 | 34 | 66 | 40 | 60 |
| Saloá | 16.214 | 16.700 | 59 | 41 | 60 | 40 |
| Sanharó | 26.895 | 29.230 | 65 | 35 | 70 | 30 |
| Santa Cruz do Capibaribe | 109.712 | 119.833 | 99 | 1 | 100 | 0 |
| Santa Maria do Cambucá | 14.378 | 15.175 | 36 | 64 | 59 | 41 |
| São Bento do Una | 60.480 | 64.398 | 54 | 46 | 57 | 43 |
| São Caitano | 37.958 | 39.565 | 83 | 17 | 85 | 15 |
| São João | 23.202 | 24.372 | 54 | 46 | 60 | 40 |
| São Joaquim do Monte | 21.813 | 22.543 | 77 | 23 | 80 | 20 |
| Surubim | 66.159 | 70.346 | 82 | 18 | 85 | 15 |
| Tacaimbó | 13.032 | 14.413 | 64 | 36 | 70 | 30 |
| Taquaritinga do Norte | 29.242 | 31.439 | 81 | 19 | 85 | 15 |
| Terezinha | 7.301 | 7.656 | 55 | 45 | 60 | 40 |
| Toritama | 45.973 | 50.531 | 99 | 1 | 100 | 0 |
| Tupanatinga | 27.751 | 29.557 | 40 | 60 | 56 | 44 |
| Venturosa | 18.806 | 19.803 | 69 | 31 | 78 | 22 |
| Vertente do Lério | 7.672 | 7.318 | 33 | 67 | 58 | 42 |
| Vertentes | 21.066 | 22.550 | 75 | 25 | 75 | 25 |

Fonte: ANA, 2021.

Tabela 22 - Índice Firjan de Desenvolvimento Municipal

| Município | IFDM | Emprego e Renda | Educação | Saúde |
|------------------|-------------|------------------------|-----------------|--------------|
| Agrestina | 0,5925 | 0,3563 | 0,6407 | 0,7804 |
| Águas Belas | 0,5521 | 0,2968 | 0,6160 | 0,7436 |
| Alagoinha | 0,6104 | 0,4170 | 0,6051 | 0,8092 |
| Altinho | 0,6234 | 0,4340 | 0,6699 | 0,7663 |
| Angelim | 0,6004 | 0,4335 | 0,6113 | 0,7565 |

| Município | IFDM | Emprego e Renda | Educação | Saúde |
|------------------------|-------------|------------------------|-----------------|--------------|
| Arcoverde | 0,6946 | 0,5345 | 0,7546 | 0,7947 |
| Barra de Guabiraba | 0,6781 | 0,5326 | 0,6517 | 0,8498 |
| Belo Jardim | 0,6972 | 0,5837 | 0,7284 | 0,7794 |
| Bezerros | 0,6655 | 0,4155 | 0,7803 | 0,8008 |
| Bom Conselho | 0,6017 | 0,3444 | 0,6571 | 0,8037 |
| Bom Jardim | 0,6163 | 0,3134 | 0,6533 | 0,8822 |
| Bonito | 0,5856 | 0,3297 | 0,7894 | 0,6376 |
| Brejão | 0,6159 | 0,2453 | 0,7496 | 0,8528 |
| Brejo da Madre de Deus | 0,5974 | 0,2891 | 0,6867 | 0,8163 |
| Buíque | 0,5511 | 0,3619 | 0,6165 | 0,6750 |
| Cachoeirinha | 0,6301 | 0,3591 | 0,7223 | 0,8089 |
| Caetés | 0,6038 | 0,3000 | 0,5898 | 0,9216 |
| Calçado | 0,5875 | 0,2124 | 0,6341 | 0,9160 |
| Camocim de São Félix | 0,6537 | 0,3385 | 0,7465 | 0,8760 |
| Canhotinho | 0,5740 | 0,2547 | 0,6725 | 0,7948 |
| Capoeiras | 0,5936 | 0,3427 | 0,6569 | 0,7813 |
| Caruaru | 0,7882 | 0,7527 | 0,7236 | 0,8883 |
| Casinhas | 0,6634 | 0,4268 | 0,6986 | 0,8647 |
| Correntes | 0,5805 | 0,2762 | 0,6089 | 0,8564 |
| Cumaru | 0,6174 | 0,2501 | 0,7123 | 0,8898 |
| Cupira | 0,6733 | 0,4578 | 0,7161 | 0,8461 |
| Frei Miguelinho | 0,5542 | 0,2423 | 0,5948 | 0,8254 |
| Garanhuns | 0,6786 | 0,4863 | 0,6808 | 0,8686 |
| Gravatá | 0,6312 | 0,4033 | 0,6585 | 0,8317 |
| Iati | 0,5757 | 0,4389 | 0,5569 | 0,7314 |
| Ibirajuba | 0,6110 | 0,3469 | 0,6885 | 0,7976 |
| Itaíba | 0,5907 | 0,3311 | 0,6203 | 0,8206 |
| Jataúba | 0,6081 | 0,3714 | 0,6651 | 0,7877 |
| João Alfredo | 0,6460 | 0,2865 | 0,7751 | 0,8762 |
| Jucati | 0,6997 | 0,4746 | 0,7998 | 0,8246 |
| Jupi | 0,6540 | 0,2291 | 0,8190 | 0,9139 |
| Jurema | 0,6262 | 0,3217 | 0,6896 | 0,8674 |
| Lagoa do Ouro | 0,6364 | 0,3941 | 0,6195 | 0,8955 |
| Lagoa dos Gatos | 0,5824 | 0,3483 | 0,6141 | 0,7848 |

| Município | IFDM | Emprego e Renda | Educação | Saúde |
|--------------------------|-------------|------------------------|-----------------|--------------|
| Lajedo | 0,6672 | 0,3925 | 0,7415 | 0,8675 |
| Machados | 0,6364 | 0,3881 | 0,6802 | 0,8410 |
| Orobó | 0,6950 | 0,3989 | 0,8510 | 0,8352 |
| Palmeirina | 0,5747 | 0,4439 | 0,6052 | 0,6752 |
| Panelas | 0,6311 | 0,3114 | 0,7846 | 0,7973 |
| Paranatama | 0,6245 | 0,3590 | 0,6638 | 0,8505 |
| Passira | 0,6494 | 0,3400 | 0,6913 | 0,9171 |
| Pedra | 0,6049 | 0,3821 | 0,6692 | 0,7633 |
| Pesqueira | 0,6238 | 0,4423 | 0,6675 | 0,7614 |
| Poção | 0,6113 | 0,3400 | 0,6743 | 0,8195 |
| Riacho das Almas | 0,5884 | 0,4361 | 0,6708 | 0,6584 |
| Sairé | 0,6076 | 0,3578 | 0,6590 | 0,8060 |
| Salgadinho | 0,6057 | 0,4044 | 0,5805 | 0,8323 |
| Saloá | 0,5891 | 0,3545 | 0,5936 | 0,8191 |
| Sanharó | 0,5582 | 0,2672 | 0,6496 | 0,7579 |
| Santa Cruz do Capibaribe | 0,6775 | 0,4991 | 0,7131 | 0,8203 |
| Santa Maria do Cambucá | 0,6305 | 0,3869 | 0,6950 | 0,8098 |
| São Bento do Una | 0,6220 | 0,3081 | 0,6992 | 0,8588 |
| São Caitano | 0,6486 | 0,4076 | 0,7130 | 0,8252 |
| São João | 0,6001 | 0,2418 | 0,6746 | 0,8839 |
| São Joaquim do Monte | 0,6113 | 0,3224 | 0,6992 | 0,8123 |
| Surubim | 0,6914 | 0,4770 | 0,7048 | 0,8924 |
| Tacaimbó | 0,6208 | 0,4225 | 0,6775 | 0,7624 |
| Taquaritinga do Norte | 0,6340 | 0,4146 | 0,7647 | 0,7227 |
| Terezinha | 0,5537 | 0,2474 | 0,6560 | 0,7576 |
| Toritama | 0,5906 | 0,5210 | 0,5673 | 0,6835 |
| Tupanatinga | 0,5877 | 0,3257 | 0,6888 | 0,7487 |
| Venturosa | 0,6439 | 0,3497 | 0,7195 | 0,8627 |
| Vertente do Lério | 0,6262 | 0,3080 | 0,7645 | 0,8062 |
| Vertentes | 0,6378 | 0,3388 | 0,6877 | 0,8870 |

Fonte: SEINFRA-PE, 2022.

Tabela 23 - Taxa de habitantes extremamente pobres, pobres e vulneráveis à pobreza em 2010

| Município | % de extremamente pobres | % de pobres | % de vulneráveis à pobreza |
|------------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Agrestina | 15,31 | 33,90 | 61,08 |
| Águas Belas | 31,96 | 50,88 | 72,41 |
| Alagoinha | 18,93 | 37,10 | 64,87 |
| Altinho | 22,53 | 42,07 | 66,91 |
| Angelim | 27,85 | 48,55 | 70,90 |
| Arcoverde | 13,31 | 28,80 | 51,54 |
| Barra de Guabiraba | 17,45 | 41,45 | 68,73 |
| Belo Jardim | 12,11 | 27,81 | 53,78 |
| Bezerros | 14,75 | 30,07 | 56,75 |
| Bom Conselho | 27,22 | 48,42 | 68,79 |
| Bom Jardim | 21,75 | 39,36 | 66,77 |
| Bonito | 23,70 | 44,81 | 71,13 |
| Brejão | 19,77 | 44,83 | 72,71 |
| Brejo da Madre de Deus | 12,87 | 31,16 | 61,59 |
| Buíque | 38,73 | 62,20 | 80,25 |
| Cachoeirinha | 15,44 | 33,67 | 58,53 |
| Caetés | 42,77 | 59,51 | 77,46 |
| Calçado | 30,24 | 51,63 | 73,67 |
| Camocim de São Félix | 16,00 | 38,93 | 65,22 |
| Canhotinho | 23,79 | 49,04 | 71,61 |
| Capoeiras | 26,23 | 45,24 | 72,72 |
| Caruaru | 5,66 | 16,31 | 39,22 |
| Casinhas | 23,28 | 44,08 | 72,67 |
| Correntes | 20,16 | 45,52 | 70,82 |
| Cumarú | 22,42 | 40,11 | 68,24 |
| Cupira | 12,10 | 29,90 | 57,53 |
| Frei Miguelinho | 17,10 | 33,96 | 59,84 |
| Garanhuns | 12,07 | 26,72 | 51,18 |
| Gravatá | 9,67 | 25,10 | 53,37 |
| Iati | 34,12 | 52,28 | 75,87 |
| Ibirajuba | 20,91 | 41,70 | 68,06 |
| Itaíba | 27,48 | 49,22 | 71,80 |

| Município | % de extremamente pobres | % de pobres | % de vulneráveis à pobreza |
|--------------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Jataúba | 20,78 | 41,76 | 68,66 |
| João Alfredo | 19,74 | 37,34 | 62,41 |
| Jucati | 24,71 | 44,61 | 70,66 |
| Jupi | 23,09 | 41,93 | 65,45 |
| Jurema | 30,28 | 48,57 | 74,52 |
| Lagoa do Ouro | 26,09 | 48,01 | 70,81 |
| Lagoa dos Gatos | 21,98 | 41,70 | 65,92 |
| Lajedo | 13,16 | 33,28 | 56,52 |
| Machados | 19,98 | 42,83 | 68,41 |
| Orobó | 25,35 | 42,83 | 68,78 |
| Palmeirina | 22,85 | 47,29 | 67,85 |
| Panelas | 29,62 | 49,52 | 71,63 |
| Paranatama | 34,36 | 49,10 | 72,30 |
| Passira | 19,53 | 40,63 | 67,19 |
| Pedra | 23,23 | 46,49 | 72,15 |
| Pesqueira | 20,08 | 39,31 | 62,50 |
| Poção | 29,56 | 48,44 | 69,21 |
| Riacho das Almas | 17,62 | 34,47 | 61,37 |
| Sairé | 10,97 | 28,70 | 58,70 |
| Salgadinho | 27,47 | 49,62 | 75,54 |
| Saloá | 29,48 | 44,12 | 66,21 |
| Sanharó | 18,03 | 41,54 | 68,59 |
| Santa Cruz do Capibaribe | 38,32 | 55,58 | 80,91 |
| Santa Maria do Cambucá | 28,32 | 46,61 | 67,91 |
| São Bento do Una | 18,60 | 35,59 | 59,69 |
| São Caitano | 25,34 | 45,26 | 69,08 |
| São João | 25,25 | 45,67 | 69,61 |
| São Joaquim do Monte | 21,15 | 43,59 | 67,54 |
| Surubim | 18,50 | 37,88 | 65,75 |
| Tacaimbó | 28,74 | 45,82 | 71,11 |
| Taquaritinga do Norte | 26,10 | 50,18 | 73,28 |

| Município | % de extremamente pobres | % de pobres | % de vulneráveis à pobreza |
|-------------------|---------------------------------|--------------------|-----------------------------------|
| Terezinha | 25,53 | 43,32 | 69,03 |
| Toritama | 9,22 | 34,14 | 69,67 |
| Tupanatinga | 7,08 | 25,44 | 52,28 |
| Venturosa | 26,06 | 44,76 | 67,95 |
| Vertente do Lério | 10,58 | 27,50 | 53,23 |
| Vertentes | 17,12 | 38,90 | 70,77 |

Fonte: SEINFRA-PE, 2022.

Tabela 24 - Índice de GINI de Concentração de Renda

| Município | Índice de Gini |
|------------------------|-----------------------|
| Agrestina | 0,48 |
| Águas Belas | 0,58 |
| Alagoinha | 0,49 |
| Altinho | 0,51 |
| Angelim | 0,58 |
| Arcoverde | 0,58 |
| Barra de Guabiraba | 0,51 |
| Belo Jardim | 0,51 |
| Bezerros | 0,52 |
| Bom Conselho | 0,62 |
| Bom Jardim | 0,48 |
| Bonito | 0,55 |
| Brejão | 0,49 |
| Brejo da Madre de Deus | 0,47 |
| Buíque | 0,57 |
| Cachoeirinha | 0,48 |
| Caetés | 0,60 |
| Calçado | 0,53 |
| Camocim de São Félix | 0,53 |
| Canhotinho | 0,52 |
| Capoeiras | 0,50 |
| Caruaru | 0,53 |

| Município | Índice de Gini |
|--------------------------|-----------------------|
| Casinhas | 0,45 |
| Correntes | 0,52 |
| Cumaru | 0,50 |
| Cupira | 0,49 |
| Frei Miguelinho | 0,46 |
| Garanhuns | 0,59 |
| Gravatá | 0,53 |
| Iati | 0,55 |
| Ibirajuba | 0,47 |
| Itaíba | 0,51 |
| Jataúba | 0,49 |
| João Alfredo | 0,49 |
| Jucati | 0,50 |
| Jupi | 0,50 |
| Jurema | 0,51 |
| Lagoa do Ouro | 0,51 |
| Lagoa dos Gatos | 0,50 |
| Lajedo | 0,50 |
| Machados | 0,48 |
| Orobó | 0,52 |
| Palmeirina | 0,51 |
| Panelas | 0,56 |
| Paranatama | 0,55 |
| Passira | 0,50 |
| Pedra | 0,53 |
| Pesqueira | 0,56 |
| Poção | 0,54 |
| Riacho das Almas | 0,51 |
| Sairé | 0,45 |
| Salgadinho | 0,52 |
| Saloá | 0,55 |
| Sanharó | 0,51 |
| Santa Cruz do Capibaribe | 0,45 |

| Município | Índice de Gini |
|------------------------|-----------------------|
| Santa Maria do Cambucá | 0,46 |
| São Bento do Una | 0,60 |
| São Caitano | 0,50 |
| São João | 0,56 |
| São Joaquim do Monte | 0,53 |
| Surubim | 0,52 |
| Tacaimbó | 0,50 |
| Taquaritinga do Norte | 0,42 |
| Terezinha | 0,53 |
| Toritama | 0,43 |
| Tupanatinga | 0,61 |
| Venturosa | 0,52 |
| Vertente do Lério | 0,45 |
| Vertentes | 0,46 |

Fonte: SEINFRA-PE, 2022.

Tabela 25 - Taxa de analfabetismo da população com 15 anos ou mais de idade em 2010

| Município | Taxa de analfabetismo - 15 anos ou mais de idade (%) |
|--------------------|---|
| Agrestina | 32 |
| Águas Belas | 40 |
| Alagoinha | 27 |
| Altinho | 35 |
| Angelim | 33 |
| Arcoverde | 18 |
| Barra de Guabiraba | 35 |
| Belo Jardim | 25 |
| Bezerros | 28 |
| Bom Conselho | 34 |
| Bom Jardim | 30 |

| Município | Taxa de analfabetismo - 15 anos ou mais de idade (%) |
|------------------------|---|
| Bonito | 32 |
| Brejão | 32 |
| Brejo da Madre de Deus | 32 |
| Buíque | 40 |
| Cachoeirinha | 32 |
| Caetés | 39 |
| Caçado | 32 |
| Camocim de São Félix | 32 |
| Canhotinho | 36 |
| Capoeiras | 32 |
| Caruaru | 16 |
| Casinhas | 31 |
| Correntes | 33 |
| Cumaru | 32 |
| Cupira | 31 |
| Frei Miguelinho | 32 |
| Garanhuns | 18 |
| Gravatá | 22 |
| Iati | 39 |
| Ibirajuba | 35 |
| Itaíba | 40 |
| Jataúba | 34 |
| João Alfredo | 36 |
| Jucati | 33 |
| Jupi | 32 |
| Jurema | 38 |
| Lagoa do Ouro | 40 |
| Lagoa dos Gatos | 39 |
| Lajedo | 26 |
| Machados | 29 |
| Orobó | 29 |
| Palmeirina | 33 |

| Município | Taxa de analfabetismo - 15 anos ou mais de idade (%) |
|--------------------------|---|
| Panelas | 38 |
| Paranatama | 37 |
| Passira | 32 |
| Pedra | 33 |
| Pesqueira | 25 |
| Poção | 34 |
| Riacho das Almas | 34 |
| Sairé | 34 |
| Salgadinho | 43 |
| Saloá | 35 |
| Sanharó | 26 |
| Santa Cruz do Capibaribe | 32 |
| Santa Maria do Cambucá | 25 |
| São Bento do Una | 29 |
| São Caitano | 33 |
| São João | 35 |
| São Joaquim do Monte | 24 |
| Surubim | 23 |
| Tacaimbó | 25 |
| Taquaritinga do Norte | 37 |
| Terezinha | 21 |
| Toritama | 25 |
| Tupanatinga | 21 |
| Venturosa | 26 |
| Vertente do Lério | 24 |
| Vertentes | 24 |

Fonte: SEINFRA-PE, 2022.

Tabela 26 – Taxa de mortalidade infantil em 2017

| Município | Taxa de mortalidade infantil 2017 |
|------------------|--|
| Agrestina | 6 |
| Águas Belas | 21 |

| Município | Taxa de mortalidade infantil 2017 |
|------------------------|--|
| Alagoinha | 11 |
| Altinho | 22 |
| Angelim | 23 |
| Arcoverde | 28 |
| Barra de Guabiraba | 6 |
| Belo Jardim | 10 |
| Bezerros | 8 |
| Bom Conselho | 21 |
| Bom Jardim | 2 |
| Bonito | 6 |
| Brejão | 0 |
| Brejo da Madre de Deus | 16 |
| Buíque | 20 |
| Cachoeirinha | 15 |
| Caetés | 13 |
| Calçado | 0 |
| Camocim de São Félix | 18 |
| Canhotinho | 8 |
| Capoeiras | 21 |
| Caruaru | 12 |
| Casinhas | 12 |
| Correntes | 16 |
| Cumaru | 13 |
| Cupira | 24 |
| Frei Miguelinho | 14 |
| Garanhuns | 14 |
| Gravatá | 4 |
| Iati | 7 |
| Ibirajuba | 0 |
| Itaíba | 12 |
| Jataúba | 17 |
| João Alfredo | 11 |
| Jucati | 34 |
| Jupi | 14 |
| Jurema | 23 |

| Município | Taxa de mortalidade infantil 2017 |
|--------------------------|--|
| Lagoa do Ouro | 26 |
| Lagoa dos Gatos | 0 |
| Lajedo | 17 |
| Machados | 5 |
| Orobó | 4 |
| Palmeirina | 0 |
| Panelas | 14 |
| Paranatama | 5 |
| Passira | 10 |
| Pedra | 14 |
| Pesqueira | 8 |
| Poção | 22 |
| Riacho das Almas | 10 |
| Sairé | 9 |
| Salgadinho | 0 |
| Saloá | 14 |
| Sanharó | 18 |
| Santa Cruz do Capibaribe | 18 |
| Santa Maria do Cambucá | 12 |
| São Bento do Una | 9 |
| São Caitano | 13 |
| São João | 3 |
| São Joaquim do Monte | 12 |
| Surubim | 8 |
| Tacaimbó | 19 |
| Taquaritinga do Norte | 29 |
| Terezinha | 0 |
| Toritama | 11 |
| Tupanatinga | 17 |
| Venturosa | 0 |
| Vertente do Lério | 17 |
| Vertentes | 13 |

Fonte: SEINFRA-PE, 2022.

Tabela 27 - Produto Interno Bruto segmentado pelo setor agropecuário, industrial, de serviços e a administração pública

| Município | PIB Agropecuária (Mil reais) | PIB Indústria (Mil reais) | PIB Serviços (Mil reais) | PIB Administração pública (Mil reais) |
|------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--|
| Agrestina | 34.474 | 20.318 | 90.440 | 114.550 |
| Águas Belas | 29.933 | 12.701 | 114.812 | 179.627 |
| Alagoinha | 27.746 | 3.451 | 36.910 | 65.858 |
| Altinho | 13.701 | 6.999 | 51.452 | 95.211 |
| Angelim | 49.562 | 5.014 | 24.728 | 54.108 |
| Arcoverde | 8.301 | 69.588 | 580.723 | 306.540 |
| Barra de Guabiraba | 30.115 | 6.978 | 26.653 | 66.383 |
| Belo Jardim | 152.826 | 626.335 | 545.572 | 359.397 |
| Bezerros | 18.268 | 98.882 | 305.519 | 265.973 |
| Bom Conselho | 57.522 | 91.544 | 161.224 | 207.017 |
| Bom Jardim | 70.398 | 108.149 | 235.869 | 210.635 |
| Bonito | 167.402 | 59.624 | 330.695 | 154.479 |
| Brejão | 77.254 | 5.910 | 35.269 | 44.324 |
| Brejo da Madre de Deus | 8.674 | 15.458 | 123.334 | 236.777 |
| Buíque | 54.696 | 9.721 | 109.508 | 246.381 |
| Cachoeirinha | 898 | 1.094.694 | 2.878.811 | 710.540 |
| Caetés | 27.626 | 131.934 | 40.776 | 111.414 |
| Caçado | 25.048 | 3.117 | 19.347 | 52.054 |
| Camocim de São Félix | 6.265 | 5.100 | 59.999 | 81.507 |
| Canhotinho | 27.478 | 9.213 | 55.687 | 107.784 |
| Capoeiras | 30.036 | 25.712 | 52.796 | 88.661 |
| Caruaru | 110.385 | 793.572 | 4.106.276 | 1.527.960 |
| Casinhas | 4.902 | 2.105 | 18.357 | 67.742 |
| Correntes | 42.974 | 7.071 | 33.108 | 85.658 |
| Cumaru | 7.192 | 2.840 | 28.196 | 53.877 |
| Cupira | 12.463 | 26.328 | 107.951 | 108.219 |
| Frei Miguelinho | 3.969 | 7.479 | 35.106 | 74.167 |

| Município | PIB Agropecuária (Mil reais) | PIB Indústria (Mil reais) | PIB Serviços (Mil reais) | PIB Administração pública (Mil reais) |
|--------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--|
| Garanhuns | 71.910 | 374.490 | 1.225.744 | 611.072 |
| Gravatá | 42.114 | 117.170 | 580.349 | 363.357 |
| Iati | 28.719 | 11.179 | 37.176 | 91.200 |
| Ibirajuba | 10.445 | 2.689 | 12.086 | 37.290 |
| Itaíba | 30.707 | 14.168 | 60.397 | 121.428 |
| Jataúba | 9.174 | 3.672 | 37.222 | 79.250 |
| João Alfredo | 4.926 | 52.876 | 85.698 | 146.682 |
| Jucati | 32.853 | 3.334 | 19.348 | 57.551 |
| Jupi | 23.352 | 24.635 | 42.215 | 71.344 |
| Jurema | 7.439 | 3.672 | 26.078 | 68.968 |
| Lagoa do Ouro | 25.493 | 3.272 | 23.469 | 64.342 |
| Lagoa dos Gatos | 13.495 | 4.379 | 22.383 | 68.757 |
| Lajedo | 48.196 | 23.423 | 194.609 | 180.585 |
| Machados | 43.216 | 20.972 | 43.757 | 71.511 |
| Orobó | 164.190 | 6.305 | 64.448 | 106.420 |
| Palmeirina | 12.821 | 2.080 | 14.160 | 42.062 |
| Panelas | 10.628 | 5.176 | 50.744 | 121.971 |
| Paranatama | 12.856 | 105.952 | 26.806 | 65.147 |
| Passira | 6.911 | 6.644 | 71.995 | 133.538 |
| Pedra | 28.658 | 50.774 | 55.848 | 100.039 |
| Pesqueira | 36.485 | 52.646 | 281.416 | 290.897 |
| Poção | 3.500 | 2.757 | 22.345 | 53.660 |
| Riacho das Almas | 27.080 | 8.261 | 54.901 | 93.867 |
| Sairé | 30.387 | 4.453 | 41.751 | 51.742 |
| Salgadinho | 2.835 | 1.476 | 13.621 | 52.049 |
| Saloá | 16.397 | 10.114 | 30.548 | 69.422 |
| Sanharó | 18.958 | 7.300 | 63.434 | 109.584 |
| Santa Cruz do Capibaribe | 4.071 | 221.988 | 714.222 | 446.731 |
| Santa Maria do Cambucá | 1.756 | 7.907 | 32.254 | 62.933 |

| Município | PIB Agropecuária (Mil reais) | PIB Indústria (Mil reais) | PIB Serviços (Mil reais) | PIB Administração pública (Mil reais) |
|-----------------------|-------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--|
| São Bento do Una | 794.584 | 40.666 | 174.889 | 246.220 |
| São Caitano | 27.680 | 34.925 | 123.056 | 161.987 |
| São João | 105.144 | 187.661 | 274.873 | 55.259 |
| São Joaquim do Monte | 12.822 | 5.166 | 46.204 | 96.867 |
| Surubim | 7.562 | 71.743 | 383.020 | 266.195 |
| Tacaimbó | 78.703 | 19.676 | 34.388 | 58.467 |
| Taquaritinga do Norte | 9.904 | 54.920 | 92.765 | 122.283 |
| Terezinha | 7.939 | 2.643 | 13.223 | 40.085 |
| Toritama | 348 | 140.850 | 298.961 | 194.012 |
| Tupanatinga | 15.662 | 6.300 | 42.624 | 120.549 |
| Venturosa | 21.742 | 40.607 | 54.939 | 82.242 |
| Vertente do Lério | 1.702 | 8.810 | 15.776 | 38.882 |
| Vertentes | 2.536 | 7.295 | 60.897 | 89.063 |
| Total | 2.956.008 | 5.024.863 | 15.773.757 | 11.082.353 |

Fonte SEINFRA-PE, 2022.

Tabela 28 – Índice de atendimento abastecimento d'água urbano e total

| Município | Índice Atendimento urbano (%) | Índice de Atendimento |
|--------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Agrestina | 100 | 100 |
| Águas Belas | 79 | 49 |
| Alagoinha | 83 | 47 |
| Altinho | 100 | 86 |
| Angelim | 100 | 75 |
| Arcoverde | 100 | 100 |
| Barra de Guabiraba | 100 | 99 |
| Belo Jardim | 100 | 100 |
| Bezerros | 100 | 90 |
| Bom Conselho | 100 | 68 |

| Município | Índice Atendimento urbano (%) | Índice de Atendimento |
|------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Bom Jardim | 100 | 66 |
| Bonito | 100 | 92 |
| Brejão | 100 | 46 |
| Brejo da Madre de Deus | 73 | 57 |
| Buíque | 81 | 33 |
| Cachoeirinha | 100 | 94 |
| Caetés | 72 | 20 |
| Calçado | 100 | 37 |
| Camocim de São Félix | 89 | 75 |
| Canhotinho | 100 | 63 |
| Capoeiras | 100 | 38 |
| Caruaru | 100 | 100 |
| Casinhas | 100 | 21 |
| Correntes | 100 | 79 |
| Cumaru | 100 | 61 |
| Cupira | 100 | 100 |
| Frei Miguelinho | 100 | 42 |
| Garanhuns | 100 | 100 |
| Gravatá | 100 | 100 |
| Iati | 92 | 51 |
| Ibirajuba | 100 | 63 |
| Itaíba | 100 | 73 |
| Jataúba | 27 | 16 |
| João Alfredo | 100 | 62 |
| Jucati | 100 | 36 |
| Jupi | 26 | 16 |
| Jurema | 100 | 91 |
| Lagoa do Ouro | 100 | 56 |

| Município | Índice Atendimento urbano (%) | Índice de Atendimento |
|--------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Lagoa dos Gatos | 100 | 63 |
| Lajedo | 100 | 100 |
| Machados | 99 | 61 |
| Orobó | 88 | 32 |
| Palmeirina | 100 | 75 |
| Panelas | 100 | 66 |
| Paranatama | 60 | 12 |
| Passira | 100 | 61 |
| Pedra | 86 | 49 |
| Pesqueira | 87 | 63 |
| Poção | 95 | 59 |
| Riacho das Almas | 100 | 61 |
| Sairé | 100 | 100 |
| Salgadinho | 100 | 35 |
| Saloá | 75 | 37 |
| Sanharó | 100 | 81 |
| Santa Cruz do Capibaribe | 70 | 68,8 |
| Santa Maria do Cambucá | 100 | 51,5 |
| São Bento do Una | 91,8 | 48,1 |
| São Caitano | 100 | 81,5 |
| São João | 100 | 67,8 |
| São Joaquim do Monte | 100 | 86,4 |
| Surubim | 100 | 100 |
| Tacaimbó | 100 | 71,6 |
| Taquaritinga do Norte | 65,1 | 47 |
| Terezinha | 100 | 51,7 |
| Toritama | 86 | 82,6 |
| Tupanatinga | 100 | 48,7 |

| Município | Índice Atendimento urbano (%) | Índice de Atendimento |
|-------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| Venturosa | 86 | 55,4 |
| Vertente do Lério | 100 | 38,9 |
| Vertentes | 100 | 72,1 |

Fonte: SEINFRA-PE, 2022.

Tabela 29 – Índice de atendimento de coleta de esgotamento sanitário e tratamento

| Município | Índice de Atendimento Urbano (%) | Índice de Atendimento total (%) | Índice de Tratamento de Esgoto Coletado (%) |
|------------------------|---|--|--|
| Agrestina | 80 | 80 | 0 |
| Águas Belas | 57 | 35 | 0 |
| Alagoinha | 0 | 0 | 0 |
| Altinho | 80 | 79 | 0 |
| Angelim | 0 | 0 | 0 |
| Arcoverde | 6 | 5 | 100 |
| Barra de Guabiraba | 0 | 0 | 0 |
| Belo Jardim | 0 | 0 | 0 |
| Bezerros | 0 | 0 | 0 |
| Bom Conselho | 0 | 0 | 0 |
| Bom Jardim | 0 | 0 | 0 |
| Bonito | 0 | 0 | 0 |
| Brejão | 0 | 0 | 0 |
| Brejo da Madre de Deus | 53 | 41 | 0 |
| Buíque | 0 | 0 | 0 |
| Cachoeirinha | 73 | 64 | 0 |
| Caetés | 0 | 0 | 0 |
| Calçado | 0 | 0 | 0 |
| Camocim de São Félix | 0 | 0 | 0 |
| Canhotinho | 0 | 0 | 0 |
| Capoeiras | 0 | 0 | 0 |
| Caruaru | 62 | 55 | 100 |
| Casinhas | 0 | 0 | 0 |
| Correntes | 0 | 0 | 0 |
| Cumaru | 0 | 0 | 0 |

| Município | Índice de Atendimento Urbano (%) | Índice de Atendimento total (%) | Índice de Tratamento de Esgoto Coletado (%) |
|--------------------------|---|--|--|
| Cupira | 0 | 0 | 0 |
| Frei Miguelinho | 0 | 0 | 0 |
| Garanhuns | 14 | 13 | 100 |
| Gravatá | 2 | 2 | 100 |
| Iati | 90 | 38 | 100 |
| Ibirajuba | 0 | 0 | 0 |
| Itaíba | 0 | 0 | 0 |
| Jataúba | 0 | 0 | 0 |
| João Alfredo | 0 | 0 | 0 |
| Jucati | 0 | 0 | 0 |
| Jupi | 0 | 0 | 0 |
| Jurema | 0 | 0 | 0 |
| Lagoa do Ouro | 0 | 0 | 0 |
| Lagoa dos Gatos | 0 | 0 | 0 |
| Lajedo | 0 | 0 | 0 |
| Machados | 0 | 0 | 0 |
| Orobó | 0 | 0 | 0 |
| Palmeirina | 0 | 0 | 0 |
| Panelas | 0 | 0 | 0 |
| Paranatama | 0 | 0 | 0 |
| Passira | 0 | 0 | 0 |
| Pedra | 0 | 0 | 0 |
| Pesqueira | 0 | 0 | 0 |
| Poção | 100 | 100 | 0 |
| Riacho das Almas | 51 | 80 | 0 |
| Sairé | 0 | 0 | 0 |
| Salgadinho | 0 | 0 | 0 |
| Saloá | 0 | 0 | 0 |
| Sanharó | 0 | 0 | 0 |
| Santa Cruz do Capibaribe | | | |
| Santa Maria do Cambucá | 0 | 0 | 0 |
| São Bento do Una | 33 | 40 | 0 |

| Município | Índice de Atendimento Urbano (%) | Índice de Atendimento total (%) | Índice de Tratamento de Esgoto Coletado (%) |
|-----------------------|---|--|--|
| São Caitano | 0 | 0 | 0 |
| São João | 0 | 0 | 0 |
| São Joaquim do Monte | 0 | 0 | 0 |
| Surubim | 0 | 0 | 0 |
| Tacaimbó | 32 | 18 | 100 |
| Taquaritinga do Norte | 0 | 0 | 0 |
| Terezinha | 0 | 0 | 0 |
| Toritama | 0 | 0 | 0 |
| Tupanatinga | 0 | 0 | 0 |
| Venturosa | 57 | 62 | 0 |
| Vertente do Lério | 0 | 0 | 0 |
| Vertentes | 0 | 0 | 0 |

Fonte: SEINFRA-PE, 2022.

Tabela 30 – Índice de atendimento de coleta de resíduos sólidos

| Município | % População total atendida no município | % População urbana atendida no município, abrangendo o distrito-sede e localidades |
|------------------------|--|---|
| Agrestina | 99% | 74% |
| Águas Belas | 68% | 60% |
| Alagoinha | 77% | 56% |
| Altinho | 56% | 56% |
| Angelim | 93% | 59% |
| Arcoverde | 96% | 90% |
| Barra de Guabiraba | 0% | 0% |
| Belo Jardim | 91% | 79% |
| Bezerros | 83% | 83% |
| Bom Conselho | 0% | 0% |
| Bom Jardim | 67% | 40% |
| Bonito | 76% | 50% |
| Brejão | 0% | 0% |
| Brejo da Madre de Deus | 75% | 73% |
| Buíque | 64% | 39% |

| Município | % População total atendida no município | % População urbana atendida no município, abrangendo o distrito-sede e localidades |
|----------------------|--|---|
| Cachoeirinha | 77% | 77% |
| Caetés | 0% | 0% |
| Calçado | 0% | 0% |
| Camocim de São Félix | 0% | 0% |
| Canhotinho | 80% | 57% |
| Capoeiras | 0% | 0% |
| Caruaru | 100% | 88% |
| Casinhas | 48% | 12% |
| Correntes | 0% | 0% |
| Cumaru | 0% | 0% |
| Cupira | 94% | 88% |
| Frei Miguelinho | 0% | 0% |
| Garanhuns | 0% | 0% |
| Gravatá | 88% | 88% |
| Iati | 0% | 0% |
| Ibirajuba | 0% | 0% |
| Itaíba | 0% | 0% |
| Jataúba | 0% | 0% |
| João Alfredo | 47% | 47% |
| Jucati | 60% | 26% |
| Jupi | 0% | 0% |
| Jurema | 51% | 38% |
| Lagoa do Ouro | 0% | 0% |
| Lagoa dos Gatos | 78% | 54% |
| Lajedo | 68% | 63% |
| Machados | 73% | 49% |
| Orobó | 64% | 35% |
| Palmeirina | 0% | 0% |
| Panelas | 98% | 54% |
| Paranatama | 21% | 21% |
| Passira | 69% | 48% |
| Pedra | 0% | 0% |

| Município | % População total atendida no município | % População urbana atendida no município, abrangendo o distrito-sede e localidades |
|--------------------------|--|---|
| Pesqueira | 89% | 64% |
| Poção | 97% | 62% |
| Riacho das Almas | 67% | 38% |
| Sairé | 88% | 55% |
| Salgadinho | 0% | 0% |
| Saloá | 61% | 49% |
| Sanharó | 78% | 56% |
| Santa Cruz do Capibaribe | 87% | 87% |
| Santa Maria do Cambucá | 59% | 25% |
| São Bento do Una | 66% | 52% |
| São Caitano | 84% | 66% |
| São João | 58% | 38% |
| São Joaquim do Monte | 93% | 68% |
| Surubim | 91% | 75% |
| Tacaimbó | 77% | 55% |
| Taquaritinga do Norte | 95% | 70% |
| Terezinha | 0% | 0% |
| Toritama | 100% | 96% |
| Tupanatinga | 0% | 0% |
| Venturosa | 85% | 61% |
| Vertente do Lério | 55% | 23% |
| Vertentes | 71% | 70% |

Fonte: SEINFRA-PE, 2022.

Tabela 31 – Taxa de cobertura da rede drenagem urbana

| Municípios | Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana (%) |
|--------------------|--|
| Agrestina | 0,0% |
| Águas Belas | 42,3% |
| Alagoinha | 23,5% |
| Altinho | 3,2% |
| Angelim | |
| Arcoverde | 3,1% |
| Barra de Guabiraba | |
| Belo Jardim | 0,0% |

| Municípios | Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana (%) |
|------------------------|--|
| Bezerros | 3,7% |
| Bom Conselho | |
| Bom Jardim | 4,3% |
| Bonito | 0,0% |
| Brejão | |
| Brejo da Madre de Deus | |
| Buíque | 0,3% |
| Cachoeirinha | 0,0% |
| Caetés | 55,6% |
| Calçado | |
| Camocim de São Félix | 35,7% |
| Canhotinho | 77,1% |
| Capoeiras | |
| Caruaru | 6,7% |
| Casinhas | 20,0% |
| Correntes | |
| Cumaru | |
| Cupira | 14,8% |
| Frei Miguelinho | |
| Garanhuns | 3,9% |
| Gravatá | 8,5% |
| Iati | |
| Ibirajuba | |
| Itaíba | |
| Jataúba | |
| João Alfredo | |
| Jucati | 0,0% |
| Jupi | |
| Jurema | 60,0% |
| Lagoa do Ouro | |
| Lagoa dos Gatos | 51,0% |
| Lajedo | 4,6% |
| Machados | 12,5% |
| Orobó | 4,6% |
| Palmeirina | |
| Panelas | 66,7% |
| Paranatama | |
| Passira | |
| Pedra | |
| Pesqueira | |
| Poção | 20,0% |
| Riacho das Almas | 8,5% |

| Municípios | Taxa de cobertura de vias públicas com redes ou canais pluviais subterrâneos na área urbana (%) |
|--------------------------|--|
| Sairé | 0,0% |
| Salgadinho | |
| Saloá | |
| Sanharó | 14,6% |
| Santa Cruz do Capibaribe | |
| Santa Maria do Cambucá | 10,0% |
| São Bento do Una | |
| São Caitano | 0,0% |
| São João | |
| São Joaquim do Monte | 0,0% |
| Surubim | |
| Tacaimbó | |
| Taquaritinga do Norte | 60,0% |
| Terezinha | |
| Toritama | 9,7% |
| Tupanatinga | |
| Venturosa | 0,0% |
| Vertente do Lério | 34,2% |
| Vertentes | 0,0% |

Fonte: SEINFRA-PE, 2022..

Tabela 32 – Vulnerabilidade à segurança hídrica quanto à capacidade dos mananciais e sistemas de produção de água dos mananciais e sistemas produtores dos municípios atendidos pelo SAAP

| Município | Classificação Vulnerabilidade |
|------------------------|---|
| Agrestina | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Águas Belas | Manancial Não Vulnerável com Sistema Satisfatório |
| Alagoinha | Manancial Não Vulnerável com Ampliação do Sistema |
| Altinho | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Angelim | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Arcoverde | Manancial Não Vulnerável com Adequação do Sistema |
| Barra de Guabiraba | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Belo Jardim | Manancial Não Vulnerável com Adequação do Sistema |
| Bezerros | Manancial Não Vulnerável com Ampliação do Sistema |
| Bom Conselho | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Bom Jardim | Manancial com Baixa Vulnerabilidade |
| Bonito | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Brejão | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Brejo da Madre de Deus | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Buíque | Manancial Não Vulnerável com Sistema Satisfatório |
| Cachoeirinha | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Caetés | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Calçado | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Camocim de São Félix | Manancial com Alta Vulnerabilidade |

| Município | Classificação Vulnerabilidade |
|--------------------------|---|
| Canhotinho | Manancial com Baixa Vulnerabilidade |
| Capoeiras | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Caruaru | Manancial Não Vulnerável com Adequação do Sistema |
| Casinhas | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Correntes | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Cumaru | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Cupira | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Frei Miguelinho | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Garanhuns | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Gravatá | Manancial Não Vulnerável com Ampliação do Sistema |
| Iati | Manancial Não Vulnerável com Sistema Satisfatório |
| Ibirajuba | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Itaíba | Manancial Não Vulnerável com Sistema Satisfatório |
| Jataúba | Manancial Não Vulnerável com Adequação do Sistema |
| João Alfredo | Manancial Não Vulnerável com Ampliação do Sistema |
| Jucati | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Jupi | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Jurema | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Lagoa do Ouro | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Lagoa dos Gatos | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Lajedo | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Machados | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Orobó | Manancial Não Vulnerável com Ampliação do Sistema |
| Palmeirina | Manancial com Baixa Vulnerabilidade |
| Panelas | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Paranatama | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Passira | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Pedra | Manancial Não Vulnerável com Sistema Satisfatório |
| Pesqueira | Manancial Não Vulnerável com Ampliação do Sistema |
| Poção | Manancial Não Vulnerável com Sistema Satisfatório |
| Riacho das Almas | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Sairé | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Salgadinho | Manancial com Baixa Vulnerabilidade |
| Saloá | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Sanharó | Manancial Não Vulnerável com Adequação do Sistema |
| Santa Cruz do Capibaribe | Manancial Não Vulnerável com Sistema Satisfatório |
| Santa Maria do Cambucá | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| São Bento do Una | Manancial Não Vulnerável com Adequação do Sistema |
| São Caitano | Manancial Não Vulnerável com Adequação do Sistema |
| São João | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| São Joaquim do Monte | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Surubim | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Tacaimbó | Manancial Não Vulnerável com Adequação do Sistema |

| Município | Classificação Vulnerabilidade |
|-----------------------|---|
| Taquaritinga do Norte | Manancial Não Vulnerável com Sistema Satisfatório |
| Terezinha | Manancial com Alta Vulnerabilidade |
| Toritama | Manancial Não Vulnerável com Ampliação do Sistema |
| Tupanatinga | Manancial Não Vulnerável com Sistema Satisfatório |
| Venturosa | Manancial Não Vulnerável com Sistema Satisfatório |
| Vertente do Lério | Manancial com Média Vulnerabilidade |
| Vertentes | Manancial com Média Vulnerabilidade |

Fonte: ANA, 2021.

Tabela 33 – Vulnerabilidade à segurança hídrica quanto à qualidade da água dos mananciais dos municípios atendidos pelo SAAP

| Município | vulnerabilidade Manancial segurança hídrica |
|------------------------|--|
| Agrestina | Não Vulnerável |
| Águas Belas | Não Vulnerável |
| Alagoinha | Não Vulnerável |
| Altinho | Não Vulnerável |
| Angelim | Não Vulnerável |
| Arcoverde | Não Vulnerável |
| Barra de Guabiraba | Não Vulnerável |
| Belo Jardim | Não Vulnerável |
| Bezerros | Não Vulnerável |
| Bom Conselho | Vulnerável |
| Bom Jardim | Não Vulnerável |
| Bonito | Não Vulnerável |
| Brejão | Vulnerável |
| Brejo da Madre de Deus | Não Vulnerável |
| Buíque | Não Vulnerável |
| Cachoeirinha | Não Vulnerável |
| Caetés | Vulnerável |
| Calçado | Vulnerável |
| Camocim de São Félix | Vulnerável |
| Canhotinho | Vulnerável |
| Capoeiras | Vulnerável |
| Caruaru | Não Vulnerável |
| Casinhas | Não Vulnerável |
| Correntes | Não Vulnerável |
| Cumaru | Não Vulnerável |
| Cupira | Não Vulnerável |
| Frei Miguelinho | Não Vulnerável |
| Garanhuns | Não Vulnerável |
| Gravatá | Vulnerável |
| Iati | Não Vulnerável |
| Ibirajuba | Não Vulnerável |

| Município | vulnerabilidade Manancial segurança hídrica |
|--------------------------|--|
| Itaíba | Não Vulnerável |
| Jataúba | Vulnerável |
| João Alfredo | Não Vulnerável |
| Jucati | Vulnerável |
| Jupi | Vulnerável |
| Jurema | Não Vulnerável |
| Lagoa do Ouro | Não Vulnerável |
| Lagoa dos Gatos | Não Vulnerável |
| Lajedo | Não Vulnerável |
| Machados | Não Vulnerável |
| Orobó | Não Vulnerável |
| Palmeirina | Vulnerável |
| Panelas | Não Vulnerável |
| Paranatama | Vulnerável |
| Passira | Não Vulnerável |
| Pedra | Não Vulnerável |
| Pesqueira | Não Vulnerável |
| Poção | Não Vulnerável |
| Riacho das Almas | Não Vulnerável |
| Sairé | Não Vulnerável |
| Salgadinho | Não Vulnerável |
| Saloá | Não Vulnerável |
| Sanharó | Não Vulnerável |
| Santa Cruz do Capibaribe | Não Vulnerável |
| Santa Maria do Cambucá | Não Vulnerável |
| São Bento do Una | Não Vulnerável |
| São Caitano | Não Vulnerável |
| São João | Não Vulnerável |
| São Joaquim do Monte | Não Vulnerável |
| Surubim | Não Vulnerável |
| Tacaimbó | Não Vulnerável |
| Taquaritinga do Norte | Vulnerável |
| Terezinha | Vulnerável |
| Toritama | Não Vulnerável |
| Tupanatinga | Não Vulnerável |
| Venturosa | Não Vulnerável |
| Vertente do Lério | Não Vulnerável |
| Vertentes | Não Vulnerável |

Fonte: ANA, 2021.

Tabela 34 – Índice de cobertura da rede de distribuição de água

| Município | Classificação Cobertura | Classificação Numérica Cobertura |
|------------------|--------------------------------|---|
| Agrestina | Ótima | 5 |

| Município | Classificação Cobertura | Classificação Numérica Cobertura |
|------------------------|--------------------------------|---|
| Águas Belas | Regular | 3 |
| Alagoinha | Regular | 3 |
| Altinho | Ótima | 5 |
| Angelim | Ótima | 5 |
| Arcoverde | Ótima | 5 |
| Barra de Guabiraba | Ótima | 5 |
| Belo Jardim | Ótima | 5 |
| Bezerros | Ótima | 5 |
| Bom Conselho | Ótima | 5 |
| Bom Jardim | Ótima | 5 |
| Bonito | Ótima | 5 |
| Brejão | Ótima | 5 |
| Brejo da Madre de Deus | Regular | 3 |
| Buíque | Regular | 3 |
| Cachoeirinha | Ótima | 5 |
| Caetés | Regular | 3 |
| Calçado | Ótima | 5 |
| Camocim de São Félix | Boa | 4 |
| Canhotinho | Ótima | 5 |
| Capoeiras | Ótima | 5 |
| Caruaru | Ótima | 5 |
| Casinhas | Ótima | 5 |
| Correntes | Ótima | 5 |
| Cumaru | Ótima | 5 |
| Cupira | Ótima | 5 |
| Frei Miguelinho | Ótima | 5 |
| Garanhuns | Ótima | 5 |
| Gravatá | Ótima | 5 |
| Iati | Boa | 4 |
| Ibirajuba | Ótima | 5 |
| Itaíba | Ótima | 5 |
| Jataúba | Péssima | 1 |
| João Alfredo | Ótima | 5 |
| Jucati | Ótima | 5 |
| Jupi | Péssima | 1 |
| Jurema | Ótima | 5 |
| Lagoa do Ouro | Ótima | 5 |
| Lagoa dos Gatos | Ótima | 5 |
| Lajedo | Ótima | 5 |
| Machados | Ótima | 5 |
| Orobó | Regular | 3 |
| Palmeirina | Ótima | 5 |
| Panelas | Ótima | 5 |

| Município | Classificação Cobertura | Classificação Numérica Cobertura |
|--------------------------|--------------------------------|---|
| Paranatama | Ruim | 2 |
| Passira | Ótima | 5 |
| Pedra | Boa | 4 |
| Pesqueira | Regular | 3 |
| Poção | Boa | 4 |
| Riacho das Almas | Ótima | 5 |
| Sairé | Ótima | 5 |
| Salgadinho | Ótima | 5 |
| Saloá | Regular | 3 |
| Sanharó | Ótima | 5 |
| Santa Cruz do Capibaribe | Regular | 3 |
| Santa Maria do Cambucá | Ótima | 5 |
| São Bento do Una | Boa | 4 |
| São Caitano | Ótima | 5 |
| São João | Ótima | 5 |
| São Joaquim do Monte | Ótima | 5 |
| Surubim | Ótima | 5 |
| Tacaimbó | Ótima | 5 |
| Taquaritinga do Norte | Ruim | 2 |
| Terezinha | Ótima | 5 |
| Toritama | Regular | 3 |
| Tupanatinga | Ótima | 5 |
| Venturosa | Regular | 3 |
| Vertente do Lério | Ótima | 5 |
| Vertentes | Ótima | 5 |

Fonte: ANA, 2021.

Tabela 35 – Desempenho Técnico do Gerenciamento das Perdas de Água

| Município | Perdas Corrigido (Pior caso) | Classificação Numérica Perdas |
|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Agrestina | A2 | 4 |
| Águas Belas | B | 3 |
| Alagoinha | B | 3 |
| Altinho | A2 | 4 |
| Angelim | A2 | 4 |
| Arcoverde | C | 2 |
| Barra de Guabiraba | A2 | 4 |
| Belo Jardim | A2 | 4 |
| Bezerros | B | 3 |
| Bom Conselho | A2 | 4 |
| Bom Jardim | B | 3 |
| Bonito | C | 2 |
| Brejão | A2 | 4 |

| Município | Perdas Corrigido (Pior caso) | Classificação Numérica Perdas |
|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Brejo da Madre de Deus | A2 | 4 |
| Buíque | C | 2 |
| Cachoeirinha | C | 2 |
| Caetés | A2 | 4 |
| Calçado | A2 | 4 |
| Camocim de São Félix | A2 | 4 |
| Canhotinho | B | 3 |
| Capoeiras | B | 3 |
| Caruaru | A2 | 4 |
| Casinhas | C | 2 |
| Correntes | C | 2 |
| Cumaru | A2 | 4 |
| Cupira | A2 | 4 |
| Frei Miguelinho | B | 3 |
| Garanhuns | B | 3 |
| Gravatá | B | 3 |
| Iati | D | 1 |
| Ibirajuba | A2 | 4 |
| Itaíba | C | 2 |
| Jataúba | B | 3 |
| João Alfredo | C | 2 |
| Jucati | A2 | 4 |
| Jupi | A2 | 4 |
| Jurema | A2 | 4 |
| Lagoa do Ouro | B | 3 |
| Lagoa dos Gatos | B | 3 |
| Lajedo | B | 3 |
| Machados | C | 2 |
| Orobó | D | 1 |
| Palmeirina | C | 2 |
| Panelas | B | 3 |
| Paranatama | A2 | 4 |
| Passira | A2 | 4 |
| Pedra | B | 3 |
| Pesqueira | A2 | 4 |
| Poção | A2 | 4 |
| Riacho das Almas | B | 3 |
| Sairé | A2 | 4 |
| Salgadinho | A2 | 4 |
| Saloá | B | 3 |
| Sanharó | A2 | 4 |
| Santa Cruz do Capibaribe | B | 3 |

| Município | Perdas Corrigido (Pior caso) | Classificação Numérica Perdas |
|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| Santa Maria do Cambucá | A2 | 4 |
| São Bento do Una | A2 | 4 |
| São Caitano | B | 3 |
| São João | A2 | 4 |
| São Joaquim do Monte | B | 3 |
| Surubim | A2 | 4 |
| Tacaimbó | A2 | 4 |
| Taquaritinga do Norte | A2 | 4 |
| Terezinha | C | 2 |
| Toritama | B | 3 |
| Tupanatinga | A2 | 4 |
| Venturosa | C | 2 |
| Vertente do Lério | A2 | 4 |
| Vertentes | B | 3 |

Fonte: ANA, 2021.

Tabela 36 – Custos para ampliação e renovação dos sistemas de distribuição de água nos municípios

| Municípios | Investimentos na Ampliação | Investimentos na Reposição |
|------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Agrestina | R\$ 3.153.407,04 | R\$ 5.341.003,19 |
| Águas Belas | R\$ 11.656.093,16 | R\$ 4.882.648,32 |
| Alagoinha | R\$ 2.219.688,07 | R\$ 1.612.860,29 |
| Altinho | R\$ 3.127.507,23 | R\$ 4.282.588,43 |
| Angelim | R\$ 1.910.783,35 | R\$ 1.732.634,42 |
| Arcoverde | R\$ 3.522.037,47 | R\$ 15.141.134,58 |
| Barra de Guabiraba | R\$ 1.068.822,33 | R\$ 2.250.362,83 |
| Belo Jardim | R\$ 12.577.428,13 | R\$ 15.018.878,12 |
| Bezerros | R\$ 7.039.193,51 | R\$ 10.986.950,39 |
| Bom Conselho | R\$ 7.203.739,82 | R\$ 7.032.132,99 |
| Bom Jardim | R\$ 5.141.680,98 | R\$ 5.398.169,21 |
| Bonito | R\$ 5.977.961,23 | R\$ 5.914.021,23 |
| Brejão | R\$ 967.110,70 | R\$ 823.196,05 |
| Brejo da Madre de Deus | R\$ 16.139.886,79 | R\$ 6.925.577,99 |
| Buíque | R\$ 11.549.699,35 | R\$ 4.667.356,79 |
| Cachoeirinha | R\$ 2.930.108,62 | R\$ 3.654.156,59 |
| Caetés | R\$ 7.657.084,78 | R\$ 2.476.272,55 |
| Calçado | R\$ 1.899.982,31 | R\$ 1.078.481,08 |
| Camocim de São Félix | R\$ 3.921.218,20 | R\$ 2.957.239,15 |
| Canhotinho | R\$ 3.436.604,34 | R\$ 3.454.797,08 |
| Capoeiras | R\$ 3.935.535,88 | R\$ 2.278.931,10 |
| Caruaru | R\$ 34.148.426,75 | R\$ 68.203.947,90 |
| Casinhas | R\$ 1.166.501,31 | R\$ 727.699,43 |
| Correntes | R\$ 2.718.263,10 | R\$ 2.409.290,77 |

| Municípios | Investimentos na Ampliação | Investimentos na Reposição |
|--------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Cumaru | R\$ 0,00 | R\$ 1.189.843,91 |
| Cupira | R\$ 2.922.423,87 | R\$ 5.326.076,65 |
| Frei Miguelinho | R\$ 4.145.460,92 | R\$ 1.976.587,80 |
| Garanhuns | R\$ 12.128.741,64 | R\$ 24.967.897,42 |
| Gravatá | R\$ 9.575.793,14 | R\$ 19.191.416,55 |
| Iati | R\$ 7.938.927,75 | R\$ 1.845.584,03 |
| Ibirajuba | R\$ 1.472.874,49 | R\$ 1.294.297,69 |
| Itaíba | R\$ 2.923.334,32 | R\$ 3.298.455,63 |
| Jataúba | R\$ 10.025.388,18 | R\$ 1.857.670,68 |
| João Alfredo | R\$ 4.288.860,43 | R\$ 3.910.256,19 |
| Jucati | R\$ 1.448.984,36 | R\$ 1.047.324,31 |
| Jupi | R\$ 7.319.203,87 | R\$ 1.955.716,68 |
| Jurema | R\$ 2.108.877,03 | R\$ 2.511.959,68 |
| Lagoa do Ouro | R\$ 2.335.782,23 | R\$ 1.599.290,91 |
| Lagoa dos Gatos | R\$ 2.186.877,78 | R\$ 2.242.338,47 |
| Lajedo | R\$ 3.735.240,81 | R\$ 7.667.322,83 |
| Machados | R\$ 2.816.289,67 | R\$ 1.761.940,92 |
| Orobó | R\$ 6.108.751,01 | R\$ 1.969.740,20 |
| Palmeirina | R\$ 753.603,97 | R\$ 1.350.849,25 |
| Panelas | R\$ 3.193.544,37 | R\$ 3.513.863,99 |
| Paranatama | R\$ 3.471.449,39 | R\$ 707.548,64 |
| Passira | R\$ 5.312.742,75 | R\$ 3.335.938,49 |
| Pedra | R\$ 7.983.907,25 | R\$ 3.043.263,91 |
| Pesqueira | R\$ 8.395.427,00 | R\$ 9.127.676,51 |
| Poção | R\$ 1.613.605,12 | R\$ 1.718.012,23 |
| Riacho das Almas | R\$ 3.524.168,33 | R\$ 2.732.319,74 |
| Sairé | R\$ 614.302,00 | R\$ 1.377.910,64 |
| Salgadinho | R\$ 421.712,30 | R\$ 828.515,37 |
| Saloá | R\$ 3.198.149,28 | R\$ 1.545.428,34 |
| Sanharó | R\$ 4.504.771,16 | R\$ 3.716.178,52 |
| Santa Cruz do Capibaribe | R\$ 31.962.199,23 | R\$ 17.875.128,54 |
| Santa Maria do Cambucá | R\$ 5.609.513,20 | R\$ 2.211.869,41 |
| São Bento do Una | R\$ 4.759.074,94 | R\$ 6.901.835,13 |
| São Caitano | R\$ 3.280.493,96 | R\$ 6.108.769,85 |
| São João | R\$ 3.240.818,13 | R\$ 3.187.760,54 |
| São Joaquim do Monte | R\$ 3.088.981,90 | R\$ 3.265.444,22 |
| Surubim | R\$ 6.549.323,42 | R\$ 12.283.925,37 |
| Tacaimbó | R\$ 1.993.545,88 | R\$ 1.957.741,97 |
| Taquaritinga do Norte | R\$ 8.564.174,88 | R\$ 3.395.849,33 |
| Terezinha | R\$ 1.169.269,17 | R\$ 889.652,86 |
| Toritama | R\$ 8.914.193,22 | R\$ 8.624.109,63 |
| Tupanatinga | R\$ 3.548.618,02 | R\$ 2.402.607,85 |
| Venturosa | R\$ 2.839.060,39 | R\$ 2.511.394,51 |

| Municípios | Investimentos na Ampliação | Investimentos na Reposição |
|-------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Vertente do Lério | R\$ 1.807.126,30 | R\$ 864.194,53 |
| Vertentes | R\$ 2.751.039,54 | R\$ 2.735.327,41 |

Fonte: ANA, 2021.