



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL
ÁREA: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL

CAMILA KARLA MEDEIROS SILVA

**ANÁLISES DAS RELAÇÕES ENTRE CONSUMO DE ÁGUA E CRESCIMENTO
URBANO EM PEQUENOS MUNICÍPIOS DA PARAÍBA**

Campina Grande – PB
2023

CAMILA KARLA MEDEIROS SILVA

**ANÁLISES DAS RELAÇÕES ENTRE CONSUMO DE ÁGUA E CRESCIMENTO
URBANO EM PEQUENOS MUNICÍPIOS DA PARAÍBA**

Dissertação submetida ao Programa de Pós Graduação
em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade
Federal de Campina Grande para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Orientadora: Prof.^a Iana Alexandra Alves Rufino

Coorientador: Prof. Ricardo de Aragão

Campina Grande – PB

2023

S586a Silva, Camila Karla Medeiros.
Análises das relações entre consumo de água e crescimento urbano em pequenos municípios da Paraíba / Camila Karla Medeiros Silva. – Campina Grande, 2023.
157 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023.
"Orientação: Profa. Dra. Iana Alexandra Alves Rufino, Prof. Dr. Ricardo de Aragão".
Referências.

1. Gestão de Recursos Hídricos. 2. Planejamento Urbano. 3. Ciência Cidadã. 4. *Landscape Expansion Index*. 5. Expansão Urbana – Municípios de Pequeno Porte. 6. Demanda Hídrica. I. Rufino, Alexandra Alves. II. Aragão, Ricardo de. III. Título.

CDU 556.18(043)

CAMILA KARLA MEDEIROS SILVA

**ANÁLISES DAS RELAÇÕES ENTRE CONSUMO DE ÁGUA E CRESCIMENTO
URBANO EM PEQUENOS MUNICÍPIOS DA PARAÍBA**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado no dia 15 de fevereiro de 2023, por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof.^a Iana Alexandra Alves Rufino
Orientadora – Unidade Acadêmica de Engenharia Civil (UFCG)

Prof. Ricardo de Aragão
Coorientador – Unidade Acadêmica de Engenharia Civil (UFCG)

Prof. John Elton de Brito Leite Cunha
Examinador interno – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Prof.^a Maria José de Sousa Cordão
Examinadora externa – Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Campina Grande – PB
2023



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO ENGENHARIA CIVIL AMBIENTAL
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

1. **ATA DA DEFESA PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**
2. **ALUNO(A): CAMILA KARLA MEDEIROS SILVA / COMISSÃO EXAMINADORA: DR.ª IANA ALEXANDRA ALVES RUFINO - PPGECA/UFCG (PRESIDENTE) - ORIENTADORA, DR. RICARDO DE ARAGÃO – UAEC/UFCG – COORIENTADOR, DR. JOHN ELTON DE BRITO LEITE CUNHA – PPGECA/UFCG – EXAMINADOR INTERNO, DR.ª MARIA JOSÉ DE SOUSA CORDÃO – UEPB – EXAMINADORA EXTERNA (PORTARIA 04/2023). / TITULO DA DISSERTAÇÃO: “ANÁLISES DAS RELAÇÕES ENTRE CONSUMO DE ÁGUA E CRESCIMENTO URBANO EM PEQUENOS MUNICÍPIOS DA PARAÍBA” / ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL / HORA DE INICIO: 09:20 HORAS / FORMA DA SESSÃO: PRESENCIAL NO BLOCO CR, LABORATÓRIO DE HIDRÁULICA, CAMPUS SEDE DA UFCG, EM CAMPINA GRANDE.**
3. **EM SESSÃO REALIZADA DE FORMA PRESENCIAL, APÓS EXPOSIÇÃO DE CERCA DE 40 MINUTOS, O(A) CANDIDATO(A) FOI ARGUIDO(A) ORALMENTE PELOS MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA, TENDO DEMONSTRADO SUFICIÊNCIA DE CONHECIMENTO E CAPACIDADE DE SISTEMATIZAÇÃO NO TEMA DE SUA DISSERTAÇÃO, SENDO-LHE ATRIBUÍDA O CONCEITO “EM EXIGÊNCIA”, SENDO QUE A POSSIBILIDADE DE APROVAÇÃO ESTÁ CONDICIONADA À AVALIAÇÃO DA NOVA VERSÃO DO TRABALHO FINAL, SEGUINDO PROCEDIMENTOS PREVISTOS NA RESOLUÇÃO DO PROGRAMA. O PRESIDENTE DA COMISSÃO EXAMINADORA, OUVIDOS OS DEMAIS MEMBROS, DEVERÁ FICAR RESPONSÁVEL POR ATESTAR QUE AS CORREÇÕES SOLICITADAS NA LISTA DE EXIGÊNCIAS FORAM ATENDIDAS NA VERSÃO FINAL DO TRABALHO. A COMISSÃO EXAMINADORA CUMPRINDO OS PRAZOS REGIMENTAIS, ESTABELECE UM PRAZO MÁXIMO DE 30 DIAS PARA QUE SEJAM FEITAS AS ALTERAÇÕES EXIGIDAS. APÓS O DEPÓSITO FINAL DO DOCUMENTO DE DISSERTAÇÃO, DEVIDAMENTE REVISADO E MEDIANTE ATESTADO DO ORIENTADOR, O CONCEITO “EM EXIGÊNCIA” PASSARÁ IMEDIATAMENTE PARA O DE “APROVADO”. NA FORMA REGULAMENTAR, FOI LAVRADA A PRESENTE ATA, QUE É ASSINADA POR MIM, WELLINGTON LAURENTINO DOS SANTOS, SECRETÁRIO, ALUNA E OS MEMBROS DA COMISSÃO EXAMINADORA PRESENTES.**
4. **CAMPINA GRANDE, 15 DE FEVEREIRO DE 2023**



Documento assinado eletronicamente por **IANA ALEXANDRA ALVES RUFINO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/02/2023, às 16:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MARIA JOSÉ DE SOUSA CORDAO, Usuário Externo**, em 16/02/2023, às 16:50, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Camila Karla Medeiros Silva, Usuário Externo**, em 17/02/2023, às 14:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOHN ELTON DE BRITO LEITE CUNHA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 23/02/2023, às 22:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **RICARDO DE ARAGAO, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/02/2023, às 09:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **WELLINGTON LAURENTINO DOS SANTOS, SECRETÁRIO (A)**, em 24/02/2023, às 09:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **3109247** e o código CRC **2E16E855**.

A Deus, toda honra e toda glória. Ao meu esposo, Edson, que me incentivou e não mediu esforços para tornar minha carreira acadêmica real. A minha filha, Maria Júlia, razão diária. A minha mãe, Joana, pilar da minha formação e exemplo de esforço e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me guiado e aberto portas para que eu chegasse neste momento da minha vida e pelas incontáveis bençãos proporcionadas.

Ao meu esposo e minha filha, que sempre me incentivaram e são bases para as minhas batalhas diárias.

Agradeço a minha mãe, por todo o amor, apoio e pelos inúmeros esforços para me proporcionar sempre o melhor. És meu exemplo de luta e determinação, sem a sua ajuda não conseguiria seguir em frente.

Aos meus sogros, que me apoiam e me auxiliam na formação da minha família.

Aos meus amigos de todas as etapas da minha vida (escola, graduação, especialização, mestrado e vida), obrigada pelo companheirismo e pelos momentos de trocas de experiência e conselhos.

Aos meus orientadores Iana Alexandra Alves Rufino e Ricardo de Aragão pelo auxílio, confiança, e ensino. Espero ter conseguido corresponder as expectativas de todos os ensinamentos e oportunidades que me foram concedidas ao longo desses dois anos de parceria.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

A gestão de um sistema municipal de água é fundamental para manter as cidades e apoiar a segurança hídrica das sociedades. O planejamento de crescimento dos centros urbanos juntamente com a gerência das águas urbanas é uma tarefa desafiadora para administradores de serviços públicos e formuladores de políticas, especialmente em áreas de clima semiárido em detrimento dos eventos extremos de seca. Nessa perspectiva, essa pesquisa teve como objetivo analisar o consumo de água e o crescimento urbano de 29 cidades de pequeno porte no Estado da Paraíba e investigar a relação do consumo de água com a dinâmica espacial e temporal do ambiente edificado nas áreas urbanas destes municípios. O percurso metodológico ocorreu basicamente em três etapas. Primeiramente, a análise de tendências investigou as principais problemáticas de abastecimento de água e as tendências de expansão urbana juntamente com as forças motrizes que impulsionaram esse crescimento a partir de bases de dados oficiais e de dados de Ciência Cidadã obtidos através dos diagnósticos técnico-participativos elaborados pelos Planos Municipais de Saneamento Básico nos municípios estudados. A segunda etapa é referente a análise de padrões que buscou investigar relações entre o volume consumido e a área urbanizada a partir do exame das variáveis selecionadas (população total e abastecida de água, volume consumido e área urbanizada), métodos estatísticos e de um índice de expansão urbana escolhido a partir de revisão da literatura pertinente, o *Landscape expansion index* (LEI) que possui a finalidade de fornecer informações sobre as mudanças dinâmicas espaço-temporais dos padrões de crescimento urbano utilizando sensoriamento remoto multitemporal. Enquanto a terceira etapa, subsidiou cenários futuros de demanda de água e expansão urbana utilizando as séries históricas coletadas e estudadas. Os resultados possibilitaram identificar que os pequenos municípios possuem comportamentos peculiares e características que diferem uns dos outros e também da maioria das grandes cidades, porém, todos apresentam problemas de abastecimento como a intermitência do serviço. Quanto ao crescimento urbano, os municípios crescem de maneiras diferentes em um mesmo intervalo de tempo, sendo o desenvolvimento econômico o principal impulsionador. Ainda, as maiores associações entre o volume consumido e área urbanizada se deve ao crescimento mais linear e constante de ambos. Por fim, não foram encontradas relações diretas, na amostra das cidades analisadas, entre as oscilações do consumo de água e a forma como estas crescem, ou pelo menos são necessárias mais informações e bancos de dados mais robustos para que esta relação seja explicitada.

Palavras-chave: Ciência cidadã; *Landscape expansion index*; Municípios de pequeno porte; Expansão urbana; Demanda hídrica.

ABSTRACT

Managing a municipal water system is critical to maintaining cities and supporting societies' water security. Planning for the growth of urban centers along with urban water management is a challenging task for public service administrators and policy makers, especially in areas with a semi-arid climate to the detriment of extreme drought events. From this perspective, this research aimed to analyze water consumption and urban growth in 29 small towns in the State of Paraíba and investigate the relationship between water consumption and the spatial and temporal dynamics of the built environment in the urban areas of these municipalities. The methodological route basically took place in three stages. First, the trend analysis investigated the main water supply issues and urban expansion trends along with the driving forces that provided this growth from official databases and Citizen Science data obtained through the technical-participatory diagnoses elaborated by the Municipal Basic Sanitation Plans in the municipalities considered. The second stage refers to the analysis of patterns that sought to investigate relationships between the volume consumed and the urbanized area based on the examination of the selected variables (total population and supplied population, volume consumed and urbanized area), statistical methods and an index chosen from the review of the relevant literature, the Landscape Expansion Index (LEI) which has the purpose of providing information on dynamic space-time changes in urban growth patterns using multitemporal remote sensing. While the third stage, subsidized future scenarios of water demand and urban expansion using the historical series collected and studied. The results made it possible to identify that small cities have peculiar behaviors and characteristics that differ from each other and also from most large cities, however, all have supply problems such as intermittent service. As for urban growth, municipalities grow in different ways in the same time interval, with economic development being the main driver. Still, the greatest associations between the volume consumed and the urbanized area develop with the more linear and constant growth of both. Finally, no direct relationships were found, in the sample of cities analyzed, between oscillations in water consumption and the way they grow, or at least more information and more robust databases are needed for this relationship to be made explicit.

Keywords: Citizen science; Landscape expansion index; Small municipalities; Urban expansion; Water demand.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resumo gráfico das principais análises realizadas.....	26
Figura 2 - Crescimento populacional total e urbano do Brasil.....	31
Figura 3 - Tipos de crescimento urbano.....	36
Figura 4 - Resumo das etapas metodológicas para conclusão dos objetivos específicos.....	42
Figura 5 - Municípios selecionados para o estudo.....	45
Figura 6 - Localização do Estado da Paraíba.....	48
Figura 7 - Volume do açude Bom Jesus II.....	50
Figura 8 - Volume do açude Frutuoso II.....	51
Figura 9 - Volume do Açude Saulo Maia.....	52
Figura 10 - Volume do Açude Vaca Brava.....	53
Figura 11 - Volume da Barragem de Canafístula II.....	53
Figura 12 - Volume do Açude Lagoa do Matias.....	54
Figura 13 - Volume do Epitácio Pessoa (Boqueirão).....	55
Figura 14 - Volume do Açude de Carneiro.....	56
Figura 15 - Volume do Açude de Piranhas.....	60
Figura 16 - Volume do Açude Boqueirão dos Cochos.....	61
Figura 17 - Volume do Açude Catolé I.....	62
Figura 18 - Volume do Açude São Gonçalo.....	63
Figura 19 - Volume do Açude Saco.....	64
Figura 20 - Volume do Açude Jenipapeiro.....	65
Figura 21 - Volume do Açude Poço Redondo.....	66
Figura 22 - Volume do açude São José I.....	67
Figura 23 - Volume do Açude Capoeira.....	68
Figura 24 - Volume do Açude Cafundó.....	69
Figura 25 - Volume do Açude de Duas Estradas.....	70
Figura 26 - Volume do Açude Suspiro.....	70
Figura 27 - Volume do Açude Pirpirituba.....	71
Figura 28 - Expansão urbana de Água Branca.....	79
Figura 29 - Expansão urbana de Aguiar.....	80
Figura 30 - Expansão urbana de Alhandra.....	80
Figura 31 - Expansão urbana de Areia.....	81
Figura 32 - Expansão urbana de Bananeiras.....	81

Figura 33 - Expansão urbana de Boa Vista	82
Figura 34 - Expansão urbana de Bom Sucesso	82
Figura 35 - Expansão urbana de Brejo dos Santos	83
Figura 36 - Expansão urbana de Cabaceiras.....	83
Figura 37 - Expansão urbana de Caiçara	84
Figura 38 - Expansão urbana de Cajazeirinhas	84
Figura 39 - Expansão urbana de Casserengue	85
Figura 40 - Expansão urbana de Cruz do Espírito Santo.....	85
Figura 41 - Expansão urbana de Ibiara	86
Figura 42 - Expansão urbana de Igaracy	86
Figura 43 - Expansão urbana de Manaíra.....	87
Figura 44 - Expansão urbana de Marizópolis.....	87
Figura 45 - Expansão urbana de Natuba.....	88
Figura 46 - Expansão urbana de Nova Olinda.....	88
Figura 47 - Expansão urbana de Olho D'Água	89
Figura 48 - Expansão urbana de Pedra Lavrada	89
Figura 49 - Expansão urbana de Santana de Mangueira	90
Figura 50 - Expansão urbana de São Bento.....	90
Figura 51 - Expansão urbana de São José de Piranhas.....	91
Figura 52 - Expansão urbana de São José do Bonfim	91
Figura 53 - Expansão urbana de São José dos Ramos.....	92
Figura 54 - Expansão urbana de Serra Grande	92
Figura 55 - Expansão urbana de Sertãozinho	93
Figura 56 - Expansão urbana de Solânea	93
Figura 57 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Areia	102
Figura 58 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Ibiara.....	103
Figura 59 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Cruz do Espírito Santo.....	103
Figura 60 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Marizópolis.....	104
Figura 61 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Água Branca	105

Figura 62 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Bom Sucesso	105
Figura 63 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de São José de Piranhas.....	106
Figura 64 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Igaracy	107
Figura 65 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Aguiar	108
Figura 66 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Alhandra	108
Figura 67 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Boa Vista	109
Figura 68 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Cajazeirinhas	110
Figura 69 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de São José do Bonfim	110
Figura 70 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de São Bento.....	111
Figura 71 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Bananeiras	112
Figura 72 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Cabaceiras.....	112
Figura 73 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Brejo dos Santos	113
Figura 74 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Natuba.....	114
Figura 75 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Pedra Lavrada.....	114
Figura 76 Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Caiçara	115
Figura 77 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Solânea	116
Figura 78 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Nova Olinda.....	116

Figura 79 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Casserengue.....	117
Figura 80 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Manaíra.....	117
Figura 81 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de São José dos Ramos.....	118
Figura 82 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Sertãozinho	119
Figura 83 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Olho D'Água.....	120
Figura 84 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Santana de Mangueira	120
Figura 85 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Serra Grande	121
Figura 86 - Previsão de demanda de água de Água Branca	126
Figura 87 - Previsão da área urbanizada de Água Branca.....	126
Figura 88 - Previsão de demanda de água de Aguiar	140
Figura 89 - Previsão da área urbanizada de Aguiar.....	140
Figura 90 - Previsão de demanda de água de Alhandra	141
Figura 91 - Previsão da área urbanizada de Alhandra	141
Figura 92 - Previsão de demanda de água de Areia	141
Figura 93 - Previsão da área urbanizada de Areia.....	142
Figura 94 - Previsão de demanda de água de Bananeiras.....	142
Figura 95 - Previsão da área urbanizada de Bananeiras	142
Figura 96 - Previsão de demanda de água de Boa Vista	143
Figura 97 - Previsão da área urbanizada de Boa Vista.....	143
Figura 98 - Previsão de demanda de água de Bom Sucesso.....	143
Figura 99 - Previsão da área urbanizada de Bom Sucesso	144
Figura 100 - Previsão de demanda de água de Brejo dos Santos	144
Figura 101 - Previsão da área urbanizada de Brejo dos Santos.....	144
Figura 102 - Previsão de demanda de água de Cabaceiras.....	145
Figura 103 - Previsão da área urbanizada de Cabaceiras	145
Figura 104 - Previsão de demanda de água de Caiçara	145
Figura 105 - Previsão da área urbanizada de Caiçara.....	146

Figura 106 - Previsão de demanda de água de Cajazeirinhas.....	146
Figura 107 - Previsão da área urbanizada de Cajazeirinhas	146
Figura 108 - Previsão de demanda de água de Casserengue	147
Figura 109 - Previsão da área urbanizada de Casserengue.....	147
Figura 110 - Previsão de demanda de água de Cruz do Espírito Santo.....	147
Figura 111 - Previsão da área urbanizada de Cruz do Espírito Santo	148
Figura 112 - Previsão de demanda de água de Ibiara	148
Figura 113 - Previsão da área urbanizada de Ibiara.....	148
Figura 114 - Previsão de demanda de água de Igaracy	149
Figura 115 - Previsão da área urbanizada de Igaracy	149
Figura 116 - Previsão de demanda de água de Manaíra	149
Figura 117 - Previsão da área urbanizada de Manaíra.....	150
Figura 118 - Previsão de demanda de água de Marizópolis	150
Figura 119 - Previsão da área urbanizada de Marizópolis.....	150
Figura 120 - Previsão de demanda de água de Natuba.....	151
Figura 121 - Previsão da área urbanizada de Natuba	151
Figura 122 - Previsão de demanda de água de Nova Olinda.....	151
Figura 123 - Previsão da área urbanizada de Nova Olinda	152
Figura 124 - Previsão de demanda de água de Olho D'Água	152
Figura 125 - Previsão da área urbanizada de Olho D'Água.....	152
Figura 126 - Previsão de demanda de água de Pedra Lavrada	153
Figura 127 - Previsão da área urbanizada de Pedra Lavrada.....	153
Figura 128 - Previsão de demanda de água de Santana de Mangueira.....	153
Figura 129 - Previsão da área urbanizada de Santana de Mangueira	154
Figura 130 - Previsão de demanda de água de São Bento.....	154
Figura 131 - Previsão da área urbanizada de São Bento	154
Figura 132 - Previsão de demanda de água de São José de Piranhas	155
Figura 133 - Previsão da área urbanizada de São José de Piranhas	155
Figura 134 - Previsão de demanda de água de São José do Bonfim	155
Figura 135 - Previsão da área urbanizada de São José do Bonfim.....	156
Figura 136 - Previsão de demanda de água de São José dos Ramos.....	156
Figura 137 - Previsão da área urbanizada de São José dos Ramos	156
Figura 138 - Previsão de demanda de água de Serra Grande	157
Figura 139 - Previsão da área urbanizada de Serra Grande.....	157

Figura 140 - Previsão de demanda de água de Sertãozinho	157
Figura 141 - Previsão da área urbanizada de Sertãozinho	158
Figura 142 - Previsão de demanda de água de Solânea.....	158
Figura 143 - Previsão da área urbanizada de Solânea	158

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos valores do Coeficiente de Correlação de Pearson	41
Tabela 2 - Variáveis socioeconômicas dos municípios	76
Tabela 2 - Variáveis socioeconômicas dos municípios (cont.)	77
Tabela 2 - Variáveis socioeconômicas dos municípios (cont.)	78
Tabela 3 - Análise das variáveis	98
Tabela 4 - Análise da correlação entre área urbanizada e volume consumido	101
Tabela 5 - Aplicação do LEI e análise do volume consumido	122
Tabela 5 - Aplicação do LEI e análise do volume consumido (cont.)	123

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Quadro resumo das características e peculiaridades do abastecimento de água dos municípios.....	72
Quadro 1 - Quadro resumo das características e peculiaridades do abastecimento de água dos municípios (cont.)	73
Quadro 1 - Quadro resumo das características e peculiaridades do abastecimento de água dos municípios (cont.)	74
Quadro 2 – Principais forças motrizes do crescimento urbano	95
Quadro 3 - Enquadramento dos municípios segundo as oscilações das variáveis	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CA	Autômato Celular
CAGEPA	Companhia de Água e Esgoto da Paraíba
ES	Suavização Exponencial
ETS	Suavização Exponencial Tripla
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
GHSL	<i>Global Human Settlement Layer</i>
IDH-M	Índice de Desenvolvimento Humano Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
InVEST	<i>Integrated Evaluation of Services and Tradeoffs</i>
JRC	<i>Joint Research Center</i>
LEI	<i>Landscape Expansion Index</i>
LULC	Uso e Cobertura da Terra
MapBiomias	Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
MLR	Regressão Linear Múltipla
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
PIB	Produto Interno Bruto
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
RNAs	Redes Neurais Artificiais
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
SD	<i>System Dynamics</i>
SIG	Sistema de Informações Geográficos
SNS	Secretaria Nacional de Saneamento
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
Sinisa	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico
SR	Sensoriamento Remoto
WDFT	<i>Water Demand Field Theory</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	22
1.1 CONTEXTO GERAL.....	22
1.2 OBJETIVOS	25
1.2.1 Geral	25
1.2.2 Específicos.....	25
1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	25
2. REFERENCIAL TEÓRICO	27
2.1 A ÁGUA E A CIDADE.....	27
2.2 EXPANSÃO URBANA	29
2.3 MARCO LEGAL DO SANEAMENTO	31
2.4 O SENSORIAMENTO REMOTO NOS ESTUDOS DE EXPANSÃO URBANA.....	32
2.5 ANÁLISES DE TENDÊNCIAS NOS ESTUDOS DE DEMANDAS HÍDRICAS FUTURAS	37
3. METODOLOGIA	42
3.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS PARA AS ANÁLISES.....	42
3.2 ETAPAS METODOLÓGICAS	45
3.2.1 Análises de tendências de crescimento urbano e abastecimento de água. 46	
3.2.2 Análise dos padrões observados	46
3.2.3 Obtenção de subsídios para cenarização preditiva	47
3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	48
3.3.1 Características de abastecimento de água.....	49
3.3.2 Características de desenvolvimento urbano	75
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	79
4.1 ANÁLISE DE TENDÊNCIAS	79
4.1.1 Expansão urbana.....	79
4.1.1.1 Forças motrizes	94
4.1.2 Abastecimento de água.....	96
4.2 ANÁLISE DE PADRÕES	97
4.2.1 Análise das variáveis	97
4.2.2 Métodos estatísticos.....	100
4.2.3 Índice de Expansão de Paisagem (LEI).....	121
4.3 CENÁRIOS FUTUROS	125
5. CONCLUSÕES	127

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	130
APÊNDICE A	140

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO GERAL

A urbanização, que envolve tanto o movimento de pessoas em direção e para dentro das áreas urbanas, quanto as expansões graduais das suas fronteiras e a criação de novos centros urbanos, passou por processos diferentes de desenvolvimento. Inicialmente, em sua grande maioria, as cidades foram compactadas com altas densidades populacionais e a extensão física cresceu lentamente. Porém, esse processo foi revertido e nos últimos 30 anos, os centros urbanos estão se expandindo, em média, duas vezes mais rápido que suas populações (BRITO *et al.*, 2018; GRIMM *et al.*, 2008; SETO *et al.*, 2010; 2011; TACOLI *et al.*, 2015).

Esse dinamismo é uma ação natural que oferece benefícios a sociedade, como o estímulo da economia, desenvolvimento das sociedades e a criação de centros educacionais e culturais que ampliam a produtividade econômica de qualquer país. Porém, por este dinamismo quase sempre ocorrer de forma desigual, exponencial e não planejada – traz prejuízos ambientais, sociais, econômicos e culturais que impulsionam a mudança ambiental global (DIAS; LASCHEFSKI, 2019; SANTOS *et al.*, 2017).

Até 2030, mais 1,2 bilhão de pessoas ocuparão áreas urbanas em todo o mundo. Isso impactará 290.000 km² de habitat natural os quais serão convertidos em usos do solo urbano de 2000 e 2030 (MCDONALD *et al.*, 2020). Essa transformação na cobertura do solo compreende um dos impactos humanos mais irreversíveis na biosfera global (SETO *et al.*, 2011). Causa a perda de terras agrícolas, afeta o clima local, provoca inundações, ameaça a biodiversidade, interfere na disponibilidade de água podendo desencadear a escassez dos recursos hídricos e diversos outros danos (ALMINO; RUFINO, 2021; CARVALHO; MA; SUN, 2020; SANTOS *et al.*, 2017; TACOLI *et al.*, 2015).

Em razão das mudanças no abastecimento humano, os serviços públicos de gestão de água dos centros urbanos estão buscando maneiras sustentáveis para gerir seus recursos hídricos. Assim, vários paradigmas relacionados a essa temática surgiram em todo o mundo em resposta a essas medidas de sustentabilidade, como o sexto ODS (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável) que trata das metas para garantir a

disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos (CASTRO, 2021; FURLONG *et al.*, 2016).

Ademais, pesquisas realizadas associaram o comprometimento da segurança hídrica aos impactos ocasionados pela ineficiência na gestão de recursos hídricos e crescimento urbano (GHOSH; KANSAL; VENKATESH, 2019; PAIVA *et al.*, 2020; YOMO; MOURAD; GNAZOU, 2019). Porém, o foco nos efeitos dos padrões de desenvolvimento das cidades, no aumento pela demanda de água e problemas de escassez municipais ainda são pouco investigados (HEIDARI *et al.*, 2021).

Assim, uma melhor compreensão do papel dos padrões de desenvolvimento urbano e de como as forças motrizes podem influenciar no processo de escassez hídrica das áreas urbanas, pode fornecer uma base para os tomadores de decisão mitigarem as consequências negativas em cenários incertos de segurança dos sistemas de abastecimento de água e aliviarem as condições de insuficiência desse recurso (HUANG *et al.*, 2020; LI *et al.*, 2020; SILAN *et al.*, 2016).

O estudo dos padrões de crescimento dos municípios atrelado à investigação das forças motrizes possibilita uma análise mais clara dos desenvolvimentos dos centros urbanos. Porém, o que se percebe é que, em sua maioria, os estudos focam em metrópoles ou cidades desenvolvidas (DADASHPOOR *et al.*, 2019; KUANG *et al.*, 2014; TERFA *et al.*, 2019), as pequenas cidades ou municípios interioranos quase sempre não são estudados.

O Sensoriamento Remoto (SR) pode ser utilizado para reconhecer os padrões de expansão urbana através da interpretação da integração dos diversos dados da evolução temporal da mancha urbana, o que permite o acompanhamento da dinâmica urbana e os seus vetores de crescimento (ESTEVES, 2022). Monitorar tais mudanças e os fatores que as influenciam torna-se fundamental para o auxílio na elaboração de políticas públicas e consequentemente, o atendimento da demanda urbana (SILVA *et al.*, 2018).

De acordo com o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil (ANA, 2019), de maneira geral, a demanda de água é crescente e a previsão é de que ocorra um aumento de 24% até o ano de 2030. A Lei Federal nº 14.026, sancionada em 2020, contempla o novo Marco Legal do Saneamento que possui a meta de atendimento de 99% da população com água potável e de 90% da população com coleta e tratamento de esgotos até o final de 2033. Ademais, abrange a implantação da política e a elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) contendo diagnósticos situacionais,

identificando deficiências e propondo soluções que atendam às necessidades da população, com destaque aos serviços de abastecimento de água (BRASIL, 2020).

No Estado da Paraíba, encontra-se em andamento a elaboração dos Planos Municipais de Saneamento Básico de 49 municípios, os quais são objeto de um convênio entre a Fundação Nacional de Saúde e a Universidade Federal de Campina Grande (FUNASA/UFCG). Um dos seus objetivos, é fomentar soluções de saneamento voltadas para a promoção e proteção da saúde da população dos municípios de até 50.000 habitantes (PMSB-PB, 2020).

Os planos foram formulados com a participação social, também conhecido como ciência cidadã, do termo em inglês *Citizen Science*. A ciência cidadã refere-se ao engajamento do público em geral nas atividades de pesquisas científicas atuando de forma efetiva em coletas e/ou análises de dados relacionados as investigações aplicadas a temas de interesse público. Os cidadãos contribuem com esforço intelectual, conhecimento local ou com ferramentas e recursos (MARTINS; CABRAL, 2021; PARRA, 2015). Assim sendo, para elaboração dos planos, essa participação tem como objetivo retratar com veracidade e realidade o cenário de saneamento básico dos municípios, o que implica em diversas informações que podem ser utilizadas como base para novos estudos.

O campo da ciência cidadã cresceu nas últimas décadas, fazendo com que cientistas, cidadãos, formuladores de políticas e organizações ambientais estivessem envolvidos nessa prática. A contribuição dessa ferramenta é multidisciplinar, podendo apoiar o desenvolvimento social, educação ou inovação, além de fornecer uma visão geral do campo dos atores, bem como ferramentas e diretrizes (VOHLAND *et al.*, 2021). Um dos exemplos de sua aplicação é a representação de fonte de dados para os relatórios e monitoramento dos ODS (FRAISL *et al.*, 2020).

Diante disso, este trabalho investigou as relações que foram estabelecidas ao longo do tempo entre o crescimento urbano e o consumo de água em pequenos municípios do semiárido brasileiro apoiando-se nas análises de sensoriamento remoto, dados quantitativos de demografia e volume consumido de água, além das informações oriundas da participação social.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Investigar as relações entre o consumo de água e a dinâmica espaço-temporal das áreas urbanas de 29 municípios de pequeno porte no Estado da Paraíba.

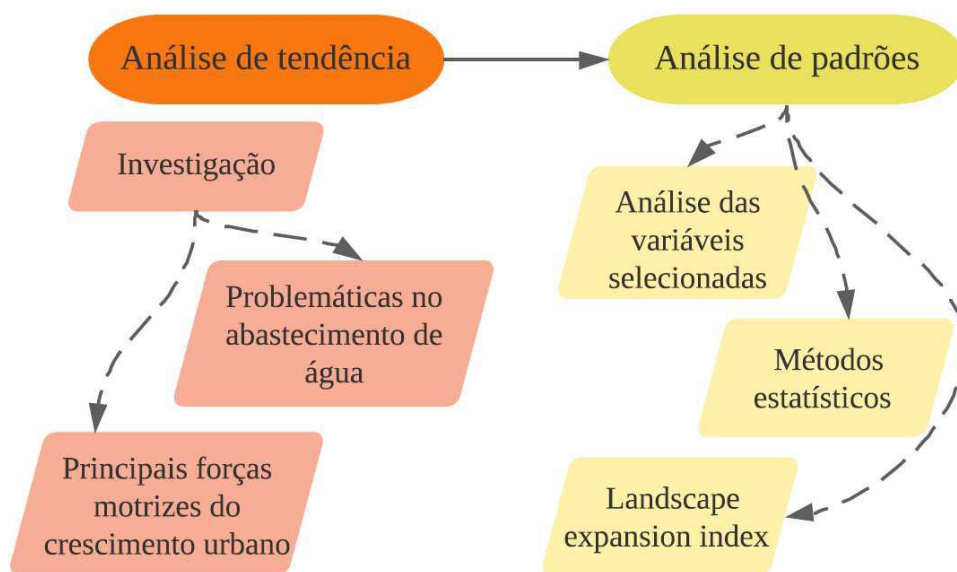
1.2.2 Específicos

- Identificar as tendências e peculiaridades do abastecimento de água de cada município;
- Identificar as tendências do crescimento urbano e as principais forças motrizes que influenciaram esse processo;
- Caracterizar as relações que foram estabelecidas ao longo do tempo entre o crescimento urbano e o consumo de água;
- Subsidiar cenários futuros de demanda de água e de cobertura do solo a partir das tendências observadas.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. O **Capítulo I** refere-se à contextualização geral da pesquisa e seus objetivos, enquanto o **Capítulo II** apresenta o referencial teórico, que compreende o processo de sustentação teórica da pesquisa. O **Capítulo III** contempla os passos metodológicos e a caracterização da área de estudo. O **Capítulo IV** integra as análises realizadas durante a pesquisa, elaboradas em duas etapas (Figura 1): a primeira etapa, correspondente a análise de tendência buscando investigar os principais problemas no abastecimento de água e as forças motrizes determinantes do crescimento da área urbana; a segunda etapa é a análise dos padrões e foi subdividida em três fases: análise das variáveis, a investigação da correlação existente entre o crescimento urbano e o consumo de água e finalmente, a aplicação do *Landscape expansion index* como forma de quantificação das tipologias de desenvolvimento dos centros urbanos e a relação com o volume consumido nos municípios. Por fim, o **Capítulo V** apresenta as conclusões do estudo.

Figura 1 – Resumo gráfico das principais análises realizadas



Fonte: Autoria própria (2023).

CAPÍTULO II

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A ÁGUA E A CIDADE

O estudo sobre o consumo de água nas cidades para o planejamento dos recursos hídricos é indispensável sob o aspecto da sustentabilidade e desenvolvimento das mesmas. Sendo assim, é necessário a compreensão do comportamento das demandas futuras de água em relação ao consumo atual, principalmente em áreas sujeitas à expansão urbana, para que seja possível planejar melhor o desenvolvimento das cidades e a gestão das águas urbanas (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

À proporção que uma cidade cresce e desenvolve sua economia, a demanda por água aumenta. O processo da urbanização desordenada pode prejudicar as fontes hídricas localizadas nessas áreas e que são responsáveis pelo abastecimento de água em razão, principalmente, da deficiência ou ausência da infraestrutura de saneamento básico. Geralmente, a paisagem rotineira desses locais deficientes são esgotos a céu aberto e lixo despejados em lugares impróprios (MIRANDA; DECESARO, 2018).

O padrão de desenvolvimento urbano é mais importante do que a porcentagem de área urbana ocupada no que se refere a qualidade das fontes hídricas, influenciando a geração de poluentes, acúmulo e processos de lavagem. Assim, uma melhor compreensão da conformação urbana é fundamental para o aconselhamento efetivo do planejamento e das políticas de crescimento urbano e sustentabilidade das águas urbanas (WANG *et al.*, 2021).

De acordo com o Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil de 2021 (ANA, 2022), a demanda hídrica no país vem crescendo continuamente ao longo dos anos, com destaque para o abastecimento das cidades, a indústria e a agricultura irrigada. A retirada para abastecimento urbano representa aproximadamente 25% da retirada total pelos usos consuntivos setoriais de água em 2020, ficando atrás apenas do setor da irrigação.

Ainda, estima-se um aumento de 42% das retiradas de água nos próximos 20 anos (até 2040), passando de 1.947 m³/s para 2.770 m³/s, um incremento de 26 trilhões de litros ao ano extraídos de mananciais. Esses dados fortalecem a necessidade de ações de planejamento para que os usos se desenvolvam com segurança hídrica, evitando crises e

proporcionando os usos múltiplos da água, em especial quando considerados os efeitos das mudanças climáticas no ciclo da água (ANA, 2022).

As situações ligadas de forma específica à infraestrutura aparentam ser problemas das médias e grandes cidades, metrópoles ou de regiões metropolitanas, fazendo com que seja criada uma impressão de que as cidades de pequeno porte não apresentam tais problemas ou, pela sua pequena dimensão, ou por julgar-se que estas não sejam significativas em um contexto regional ou nacional. Porém, os desastres oriundos de fenômenos climatológicos e naturais tem demonstrado que sua ocorrência desconhece o tamanho da configuração de aglomerações urbanas, o que implica que o argumento de que somente nas amplas aglomerações ocorrem grandes impactos é uma tese alternativa (BASSANI, 2013). Segundo o IBGE, são considerados municípios de pequeno porte aqueles que possuem população inferior a 50 mil habitantes (IBGE, 2010).

Segundo Miranda e Decesaro (2018), o abastecimento de água, o esgotamento sanitário e o manejo das águas pluviais estão diretamente interligados entre si. Dessa forma, qualquer que seja a intervenção humana sem o mínimo planejamento acarreta em impactos ao meio ambiente. Desse modo, o planejamento integrado aumenta a eficiência tanto da infraestrutura do sistema das águas urbanas quanto melhora outros aspectos da cidade, como proteção ambiental, social e econômica.

De acordo com o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), os municípios brasileiros e os prestadores de serviço de saneamento disponibilizam seus dados para o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) que os estrutura e os disponibiliza à sociedade por meio dos Diagnósticos (Água e Esgotos, Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos e Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas), através do SNIS Série Histórica e do Painel de Informações sobre Saneamento (MDR, 2022).

Ainda de acordo com a referência supracitada, o SNIS é uma unidade vinculada à Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) do MDR. Possui abrangência nacional e reúne diversas informações de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro, contábil e de qualidade da prestação de serviços de saneamento básico em áreas urbanas das quatro componentes do saneamento básico (água, esgoto, águas pluviais e resíduos sólidos). Essas informações auxiliam o planejamento nas cidades e proporcionam uma maior transparência para com a sociedade.

2.2 EXPANSÃO URBANA

A expansão urbana é um processo que diz respeito às dinâmicas da cidade que resultam ou justificam seu crescimento. Esse dinamismo pode ser dividido em dois tipos em função do resultado em termos de ocupação do solo: crescimento territorial urbano intensivo e extensivo. O crescimento territorial urbano intensivo tem como característica principal a intensificação do uso e ocupação do solo e o crescimento territorial urbano extensivo, a extensão do tecido urbano (JAPIASSÚ; LINS, 2014).

Cada tipo de crescimento apresenta-se de diferentes formas na mancha urbana. O crescimento *intensivo* apresenta-se de duas formas: central ou periférica. E o crescimento *extensivo* pode apresentar-se de cinco formas diferentes: por dispersão urbana; por difusão urbana; pela soma de novas áreas ao tecido urbano; tentacular e por anéis concêntricos. Destaca-se que, não necessariamente cada cidade siga apenas uma forma de crescimento, pelo contrário, em sua maioria as cidades apresentam várias formas de crescimento em paralelo (JAPIASSÚ; LINS, 2014).

Um dos aspectos urbanos que tem recebido mais atenção é o fenômeno da expansão física das cidades acompanhada de significativa perda de densidade, conhecido na literatura internacional como *urban sprawl*. A principal razão pela qual esse fenômeno voltou a ser foco de planejadores urbanos e cientistas sociais é a justa relação que existe entre a expansão urbana e a eficiência ambiental das cidades (RUBIERA-MOROLLÓN; GARRIDO-YSERTE, 2020).

A urbanização é um processo de alteração das paisagens naturais e culturais por intensas atividades antrópicas que podem se concentrar em escalas locais e regionais (LIU; WU, 2022). A intensificação desse processo e o rápido crescimento das cidades, em âmbito mundial, foram alavancados devido ao dinamismo do capitalismo que, aliado diretamente à industrialização, provocou o êxodo rural e fez as cidades crescerem de forma desordenada. Esse movimento também desencadeou o desenvolvimento cultural, educacional e tecnológico das cidades, o que ocasionou oportunidades de empregos e conseqüentemente, melhores condições de vida (JUNIOR; SANTOS, 2014).

O Brasil acompanhou o cenário global. A urbanização do país ocorreu de forma acelerada e desordenada, intensificada pela modernização da agricultura, o que promoveu a transformação de um país agrário para um país industrial. Esse movimento provocou a expansão das cidades, principalmente da região Sudeste do país, além da migração da população em busca de maneiras de sustentar seus meios de subsistência,

majoritariamente da região Nordeste para Sudeste (JUNIOR SANTOS, 2014; SANTOS, 2008).

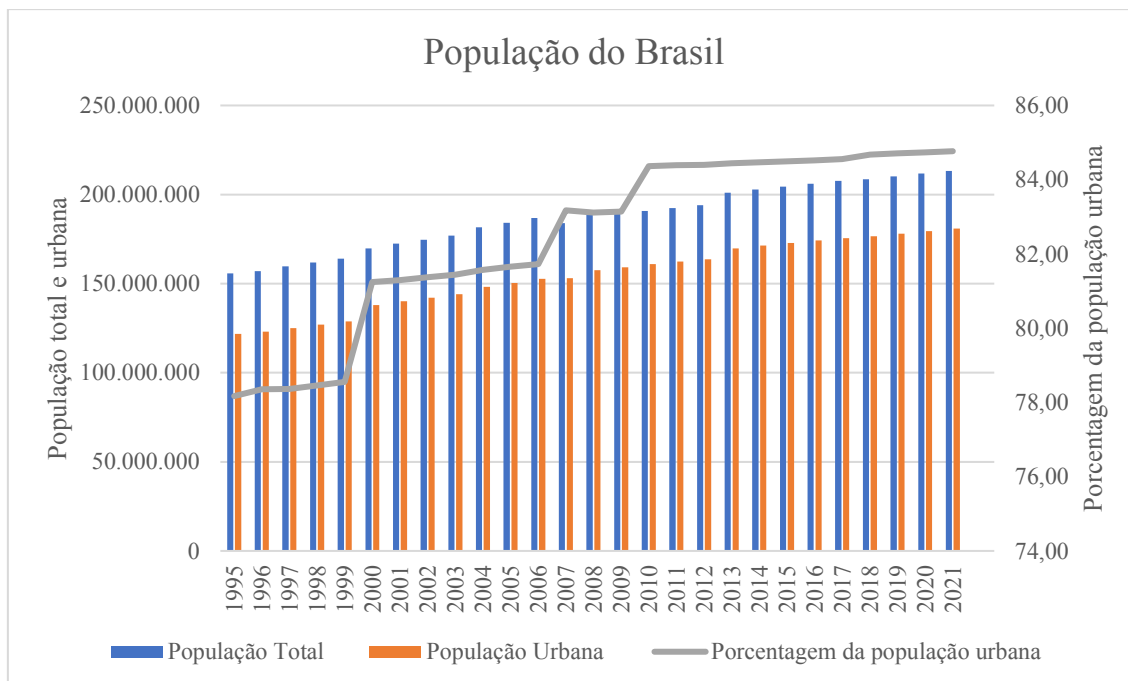
Como consequência, o adensamento populacional e o desenvolvimento das atividades econômicas apresentaram uma nova configuração espacial das cidades, além de novas estruturas sociais e econômicas (MARTINS *et al.*, 2010; ROSSETTI *et al.*, 2013). De acordo com os dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) do ano de 2015, 84,72% da população brasileira vive em áreas urbanas, sendo o Sudeste a região com a maior parte da população vivendo nesses centros, cerca de 93,14%. Em contrapartida, o Nordeste é a região com o maior percentual de habitantes vivendo em áreas rurais, aproximadamente 26,88%.

Em decorrência do crescimento urbano acelerado, houve o surgimento de problemas socioeconômicos, ambientais e de infraestrutura, principalmente nos grandes centros urbanos e polos regionais (OLIVEIRA, 2019), tanto diretamente pela expansão da área urbana, quanto indiretamente por meio das mudanças no consumo e poluição dos recursos naturais, à proporção que ocorreu o êxodo rural (MCKINNEY, 2002).

A evolução da migração das zonas rurais para as zonas urbanas ainda é uma realidade que se manterá no futuro (MARTINS *et al.*, 2010). Tal fato está se concretizando no país, tendo em vista que, ao mesmo passo que a população total do país cresce, a porcentagem dos habitantes dos centros urbanos também aumenta, segundo os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (Figura 2).

As alterações do crescimento da população urbana e a expansão das cidades causam inúmeros malefícios às condições naturais. Devido à remoção da vegetação para a construção das edificações, há a diminuição do potencial de infiltração do solo e, conseqüentemente, a redução da recarga dos aquíferos subterrâneos, ao mesmo tempo que aumenta o escoamento superficial, o que pode ocasionar as inundações por sobrecarregar o sistema de drenagem (MARTINS *et al.*, 2010). Esses problemas influem diretamente no ciclo hidrológico, que resulta na disposição do aporte hídrico e no abastecimento de água das cidades.

Figura 2 - Crescimento populacional total e urbano do Brasil



Fonte: IBGE (2021).

Dessa maneira, compreender os tipos de crescimento das cidades e investigar as forças que influenciaram o processo de desenvolvimento das mesmas e que, interferem na disponibilidade ou até mesmo a escassez dos recursos hídricos, pode auxiliar na administração desse recurso e mitigar panoramas futuros de insegurança hídrica nos sistemas de abastecimento de água das cidades (LI *et al.*, 2020).

2.3 MARCO LEGAL DO SANEAMENTO

A Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020 atualiza o marco legal do saneamento básico e traz algumas mudanças, a saber: a obrigatoriedade de que os novos contratos apresentem viabilidade técnica e econômico-financeira; possuam metas de desempenho e de universalização dos serviços; regulação tarifária dos serviços; adoção aos princípios da regionalização dos serviços como necessário ao alcance de recursos geridos pela União; promove alterações substanciais na regulação; põe fim aos contratos de programa, estimulando a iniciativa privada; altera as atribuições da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), dentre outros (BRASIL, 2020).

Uma das ações da ANA será a realização de consultas e audiências públicas com a finalidade de garantir a transparência e a publicidade dos atos, o que possibilitará a análise de impacto regulatório das normas propostas. O MDR dará ampla transparência e publicidade aos sistemas de informações por ele geridos levando em consideração

demandas dos órgãos e das entidades envolvidos na política federal de saneamento básico com a finalidade de obtenção dos dados necessários ao desenvolvimento, à implementação e à avaliação das políticas públicas do setor (BRASIL, 2020).

O Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (Sinisa) se constitui na evolução do atual SNIS, sendo outro objetivo a ser vencido instituído pelo Novo Marco do Saneamento. Assim como o SNIS, o Sinisa deverá ser atualizado com periodicidade, sendo essa estabelecida pelo MDR. Além dessa transparência de informações, outro ponto que chama atenção é a regionalização dos serviços de saneamento básico (BRASIL, 2020).

Ainda segundo a referência supra referida, o novo Marco Legal tem uma intenção clara de incentivar a regionalização e suas instâncias de governança que já existem e as que serão criadas. O objetivo é a divisão de cada estado brasileiro em regiões para que a prestação seja organizada, planejada e executada em uma escala geográfica maior. Essa abordagem tem o intuito de ampliar as escalas e garantir a universalização e a viabilidade técnica e econômico-financeira dos serviços, com uniformização do planejamento, da regulação e da fiscalização.

Observa-se uma ampla priorização da estrutura de prestação regionalizada dos sistemas de água e esgoto. Porém, algumas questões são levantadas por gestores e estudiosos em relação, principalmente, aos pequenos municípios, tais como: formação de blocos inviáveis tecnicamente e financeiramente; a falta de atratividade desses blocos para empresas prestadoras do serviço; dúvidas sobre o compromisso das empresas privadas com um serviço de qualidade, não só tendo o lucro como foco; se os municípios menores e de baixa renda terão condições de pagar pelos serviços de saneamento, com taxas ou tarifas condizentes com suas realidades; dentre outros (FILHO, 2022).

2.4 O SENSORIAMENTO REMOTO NOS ESTUDOS DE EXPANSÃO URBANA

Sensoriamento remoto é a geotecnologia que concede a obtenção de imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre. Esse dinamismo ocorre por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. A obtenção dos dados acontece através de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas ou orbitais ocorrendo de modo distante, isto é, sem que haja contato físico entre o sensor e o objeto analisado (FLORENZANO, 2011).

Os usos do SR são variados e podem ser empregados de diversas formas, como na gestão e o gerenciamento dos desastres naturais (SAUSEN; LACRUZ, 2015), no monitoramento, caracterização e dinâmica da agricultura (FORMAGGIO; SANCHES, 2017), na estimativa de áreas vegetadas e não vegetadas (GARCIA; ARAUJO, 2021), no estudo de fenômenos ambientais, ambientes naturais e transformados e na ação da expansão urbana (FLORENZANO, 2011; GOMES; CUBAS, 2021; NASCIMENTO *et al.*, 2014; SILVA; FARIA, 2019) e diversas outras áreas.

Algumas dessas aplicações contribuem de forma significativa para o planejamento das cidades e para a tomada de decisão quanto aos obstáculos ambientais e urbanos que se desenvolvem devido a acelerada expansão urbana sem planejamento. Oliveira (2019) aclara que as geotecnologias permitem realizar análises espaciais dos fenômenos ambientais físicos, sociais, políticos e diversos outros, que podem contribuir com informações para a resolução de problemas urbanos.

As geotecnologias são tecnologias responsáveis pela coleta, processamento, análise e disposição de informações com referência geográficas. São técnicas matemáticas e computacionais que, juntas, auxiliam a tomada de decisão. Alguns desses instrumentos são utilizados diariamente como os aplicativos gráficos disponíveis na WEB, a exemplo, o Google Maps e o Google Earth. Ademais, o SR, o sistema de posicionamento global e o Sistema de Informações Geográficas (SIG) também são exemplos dessas tecnologias (LEONARDI, 2020; ROSA, 2011).

Em detrimento do processo de industrialização e comercialização resultarem em um crescimento rápido da população nas cidades, surgiu a necessidade de planejar o desenvolvimento dos centros urbanos. Para isso, é fundamental a coleta das informações dos usos passados e atuais do solo para que se possa projetar seu controle no futuro. Posto isso, o SR via satélite e o SIG são utilizados para esta finalidade. Além disso, técnicas que utilizam as características espectrais, espaciais e temporais dos dados possibilitam uma análise acentuada dos fenômenos urbanos, como população, usos inadequados do solo, qualidade de moradia, dentre outros (LIU, 2006; PEDRO *et al.*, 2019).

Os SIGs são sistemas destinados ao processamento de dados georreferenciados desde a coleta até a geração de produtos como mapas, relatórios e arquivos digitais, permitindo o armazenamento, gerenciamento, manipulação e análise de dados. Em suma, unem a capacidade de processamento e análise de dados espaciais. Esse sistema produz informações que auxiliam a resoluções de problemas relacionados ao planejamento

ambiental e urbano, tendo a capacidade de manipular dados vinculados a um determinado lugar no espaço desde que possam ser representados em mapa (OLIVEIRA, 2019).

Segundo Liu (2006), o monitoramento da evolução de usos do solo urbano pode ser alcançado pela análise das imagens obtidas em vários períodos do tempo. Porém, para essa análise ser verídica, é fundamental considerar três aspectos, que são:

- a) o parâmetro que exhibe uma evolução temporal é mensurável;
- b) o período da repetição da aquisição das imagens na mesma área deve ser o tempo suficiente para detectar a mudança significativa do elemento em consideração, sendo esse período de tempo usado para adquirir as imagens periodicamente;
- c) o tempo da mudança deve ser maior que o tempo necessário para gerar e interpretar as imagens.

Neste sentido, a *Global Human Settlement Layer* (GHSL) é uma base de dados global produzida pelo *Joint Research Center* (JRC) da Comissão Europeia. É bastante utilizada como fonte de informações para a construção de mapas sobre grandes áreas com o intuito de fornecer a intensidade do desenvolvimento da terra e as condições de assentamento, sendo algo essencial para apoiar estudos e planejamentos do ambiente de assentamento humano (LIU *et al.*, 2020).

De acordo com a *European Commission*, a GHSL produz informações espaciais em forma de mapas de *built-up* (do inglês: área construída, mas que no GHSL é uma composição de dados de SR e censos dos diversos países), mapas de densidade populacional e mapas de assentamentos que são gerados usando novas tecnologias de mineração de dados espaciais. Esses produtos, na sua maioria, são resultados de processamento de dados heterogêneos, imagens de satélite em alta resolução, dados de censo e informações geográficas voluntárias. Esses dados são processados de forma automática e geram análises e relatórios objetivos e sistemáticos sobre a presença de população e infraestruturas construídas.

Além de analisar a área construída e a presença de aglomerado urbano (LIU *et al.*, 2020), a GHSL também é utilizada para estudar impactos do risco climático (EHRlich *et al.*, 2018), investigar os processos de sustentabilidade auxiliando o conhecimento sobre cidades e assentamentos, medindo a extensão de área construída, bem como os dinamismos sociais que ocorrem dentro desses aglomerados (EHRlich *et al.*, 2021), visualizar as zonas e tendências de mudança de uso da terra proporcionando cenários

preditivos para a gestão da água e planejamento urbano em regiões suscetíveis a riscos extremos (RUFINO *et al.*, 2021), dentre diversas outras aplicações.

No Brasil, têm-se o Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomias), criado em 2015 através de uma iniciativa do Observatório do Clima cocriada e desenvolvida por uma rede de várias instituições abrangendo universidades, ONGs e empresas de tecnologia com a finalidade de mapear anualmente a cobertura e uso da terra no país, o que auxilia diretamente o monitoramento das mudanças do território (SOUZA *et al.*, 2020).

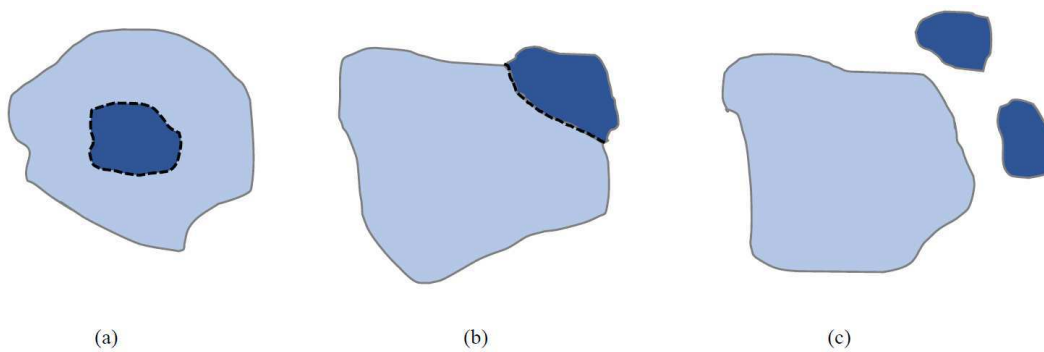
O MapBiomias foi desenvolvido para preencher as lacunas deixadas pela falta de informações a respeito das transformações significativas na cobertura do solo induzidas pelo homem no movimento de expansão das cidades. Dessa maneira, surgiu a necessidade de dados atuais e temporais para a análise do processo de monitoramento dessas mudanças e conseqüentemente, para servir de apoio ao planejamento e tomada de decisões quanto a redução dos impactos nos biomas brasileiros (Amazônia, Caatinga, Cerrado, Mata Atlântica, Pampa e Pantanal) e no meio ambiente (ROSA *et al.*, 2019).

A estratégia de mapeamento da plataforma compreende o uso dos mais avançados métodos de processamento, tecnologia e *big data* disponíveis que são fornecidos pelo Google Earth Engine (GEE). Mais especificamente, a iniciativa utiliza-se de métodos empíricos e estatísticos para contar o histórico recente de pixels e gerar mapas de uso e cobertura do solo das últimas três décadas (ROSA *et al.*, 2019).

O MapBiomias contribuiu com estudos em várias vertentes e diferentes temáticas, dentre elas podemos citar: investigação da inserção de uma rodovia com análise da expansão urbana e proteção ambiental (REIS *et al.*, 2020), estudos da dinâmica da cobertura vegetal e uso e cobertura do solo (LULC) (ALMEIDA *et al.*, 2018; CRISTÓVÃO, 2021) e análise e quantificação dos impactos oriundos da expansão urbana (RODRIGUES *et al.*, 2020; VELOZA, 2021).

Outra maneira de analisar os processos de expansão urbana é através do *Landscape Expansion Index* (LEI), o qual identifica as mudanças nos padrões de crescimento dos centros urbanos classificando três tipos de crescimento (Figura 3): (a) preenchimento, (b) expansão de borda e (c) expansão periférica (OMURAKUNOVA *et al.*, 2020).

Figura 3 - Tipos de crescimento urbano



Fonte: Adaptado de Omurakunova *et al.* (2020).

O LEI pode ser calculado pela Equação 1, onde L_c é o comprimento do limite comum, ou seja, o comprimento comum entre a área já existente e a área recém criada. P é o perímetro da área urbana recém desenvolvida, isto é, é a medida do contorno da nova área.

$$LEI = \frac{L_c}{P} \quad (1)$$

O valor do LEI indica (a) preenchimento quando $LEI > 0,5$, (b) expansão de borda quando $LEI < 0,5$ e (c) expansão periférica quando $LEI = 0$. Crescimento de preenchimento ocorre dentro de centros urbanizados e não desenvolvidos quando os pixels são convertidos em área urbana. A expansão da borda refere-se à área urbana recém desenvolvida que espalhou-se nas margens das manchas urbanas existentes. O crescimento periférico refere-se à mudança de não urbano para urbano que ocorre longe de áreas urbanas formadas (WOLDESEMAYAT; GENOVESE, 2021; OMURAKUNOVA *et al.*, 2020; JIAO *et al.*, 2015).

O Índice de Expansão de Paisagem foi proposto por Liu *et al.* (2010) com o objetivo de fornecer informações sobre as mudanças dinâmicas espaço-temporais dos padrões de crescimento urbano utilizando sensoriamento remoto multitemporal. Assim, esse índice busca examinar a maneira como uma paisagem evolui e revelar as relações entre a distribuição espacial de uma paisagem, bem como seu processo de evolução. O LEI é um método sistemático, simples e replicável que pode ser usado para descrever os processos de urbanização de forma a considerar tanto o quantitativo de mudanças quanto os padrões espaciais.

2.5 ANÁLISES DE TENDÊNCIAS NOS ESTUDOS DE DEMANDAS HÍDRICAS FUTURAS

O uso global de água aumentou quase 6 vezes nos últimos 100 anos na tentativa de acompanhar o aumento da demanda alimentar e os novos padrões de vida. Em detrimento disso, cada vez mais as demandas de água se aproximam da disponibilidade de água em muitas regiões, o que intensifica a preciosidade desse bem natural. Esse dinamismo se agrava quando há condições de escassez, como nas regiões semiáridas e áridas. Desse modo, o planejamento para o desenvolvimento futuro e investimentos exigem que sejam realizadas projeções de água para o futuro (WADA *et al.*, 2016).

Borges (2003) e Matos (2007) afirmam que estimar o consumo de água é fundamental para o planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos, além de auxiliar a elaboração de projetos e execuções de obras de saneamento básico, visto que a operação dessas ações está diretamente relacionada com a demanda de água. Odan (2013) adiciona que prever significa produzir informações em relação ao futuro, sendo essas previsões fundamentos para o planejamento, dessa forma, estimar a demanda de água é uma ferramenta indispensável para prevenção e manutenção dos sistemas de abastecimento.

A previsão da demanda de água é necessária para a concepção, gestão e operação dos sistemas de abastecimento de água, planejamento de expansão dos sistemas, dimensionamento da rede de distribuição de água e gestão das águas urbanas. Além do mais, é por meio dessas estimativas que o fornecimento regular de água potável exigido pelos consumidores pode ser contínuo, o que é o ideal em uma gestão eficiente. Ademais, a previsão de demanda é relevante na avaliação de medidas estratégicas e na decisão de quais ações podem ser mais eficazes na resolução de problemas (HERRERA *et al.*, 2010; LINS, 2011).

Os centros urbanos são os pontos mais críticos de uso global de água, em vista disso, enfrentam diversas problemáticas em relação a gestão hídrica. Além da influência das interações entre os sistemas humanos e naturais nas áreas urbanas, existem interações com outros agrupamentos mais distantes por meio dos fluxos da água, alimentos, energia, informações e capital. Todavia, as análises de sustentabilidade hídrica e a gestão dos sistemas nessas áreas são, em sua maioria, fragmentadas, por esta razão é fundamental investigar as estruturas integradas para explorar sistematicamente a dinâmica da água urbana e os fatores que influenciam esse dinamismo (YANG *et al.*, 2016).

Globalmente, diversos estudos foram realizados com finalidades, vertentes e ferramentas distintas motivados pela tentativa de manter o abastecimento de água limpa permanente para que as cidades sustentem suas populações e suas atividades econômicas que estão em constante movimento. Por esse motivo, as cidades necessitam e necessitarão de informações, instrumentos e estratégias para enfrentar os desafios que uma demanda de água maior que a disponibilidade desse recurso poderá causar (STOKER *et al.*, 2019).

Seguindo esse pensamento Kandissounon *et al.* (2018) analisaram os padrões de consumo de água e usaram-no em um modelo de *System Dynamics* (SD) para fazer projeções sobre a demanda. Ainda, utilizaram o SR para quantificar a contribuição da mudança de uso e cobertura do solo para inundações urbanas. O modelo SD utilizado foi o *Ithink Stella* desenvolvido pela ISEE *Systems* para estudar o comportamento de sistemas complexos ao longo do tempo.

O SD é composto por quatro ferramentas de construção (conversores, conectores, estoques e fluxos) e os resultados podem ser visualizados através de gráficos ou em formato de tabela. Esse modelo é particularmente popular em aplicações de avaliação e planejamento de análises de cenários tipo hipotético e são grandes auxiliares dos gerentes de recursos hídricos e dos formuladores de políticas públicas (KANDISSOUNON *et al.*, 2018).

O estudo de Li *et al.* (2018) investigou os impactos das variações de LULC na distribuição de água. Para atingir tal objetivo, usaram o modelo de *Integrated Evaluation of Services and Tradeoffs* (InVEST) para analisar os cenários de mudanças espaço-temporais da água quantificando os efeitos juntamente com a dinâmica de LULC e da variação climática. Além disso, desenvolveram coeficientes de distribuição hídrica por tipos principais de LULC, o que facilita a integração do planejamento e do gerenciamento dos recursos hídricos para melhorar a previsibilidade dos cenários.

Paiva *et al.* (2020) exploraram as relações entre a expansão urbana e o consumo de água com a finalidade de determinar a influência que ambos possuem na segurança hídrica futura. Para isso, um modelo de autômato celular (CA) foi usado com o objetivo de projetar a expansão urbana que, aliada ao crescimento populacional, permitiu a estimativa das demandas de água para uso doméstico até o ano de 2050, assim, duas rotinas de modelos foram desenvolvidas: uma simulada de LULC na área de estudo e outra estimou a retirada de água e consumo, com base em cenários de expansão urbana.

Os autômatos celulares são sistemas dinâmicos discretos, em que o espaço é dividido em células espaciais regulares onde o tempo progride em etapas (SANCHEZ *et*

al., 2014). Brito (2021) utiliza um modelo de CA chamado de SIMLANDER, derivado do inglês *SIMulation of LAND use changE using R*, para desenvolver cenários preditivos de uso e ocupação do solo, juntamente com produtos de classificação de seca, para que sejam utilizados na representação dos riscos associados a segurança hídrica da região semiárida do Brasil.

A pesquisa de Bouziotas *et al.* (2015) examina aspectos da interação entre a dinâmica do crescimento urbano e o ciclo urbano da água. A ferramenta de CA foi aplicada com a intenção de fornecer padrões projetados de crescimento no nível de detalhe necessário para um modelo de ciclo urbano da água. O conjunto resultante é capaz de simular mudanças espaciais em áreas urbanas ao mesmo tempo em que estima o impacto da demanda de água em diferentes cenários de gerenciamento de demanda de água.

Os CAs fornecem classificação binária (urbana e não urbana) ou difusa (parcialmente urbana, com um valor de pertinência sendo atribuído a cada célula em cada passo de tempo). Para concluir o objetivo do trabalho, aplicou-se o modelo CA restrito difuso, para simular células de estado múltiplo, podendo produzir diferentes densidades urbanas e, conseqüentemente, unidades habitacionais com diferentes propriedades que podem ser utilizadas como entrada para simulação localizada do ciclo urbano da água e servir de base na integração entre o desenho urbano e a gestão da água, levando a políticas de planejamento urbano e estratégias de mitigação mais sensíveis à água (BOUZIOTAS *et al.*, 2015).

Os trabalhos de Huang *et al.* (2020) e Silan *et al.* (2016) tratam da Teoria do Campo de Demanda de Água (*Water Demand Field Theory – WDFT*). O objetivo em comum de ambos os estudos é identificar as forças motrizes, isto é, as forças que impulsionaram o desenvolvimento social e crescimento das cidades e que, conseqüentemente, aumentaram e geraram campos de demanda de água nas áreas urbanas. Para tanto, utilizaram métodos de análises (ponderação de entropia, de correlação, componentes principais), software e métodos de linguagens para alcançar tal propósito. Assim, através da configuração dos indicadores e campos gerados, pode-se pressupor as possíveis configurações futuras, o que auxilia o planejamento das cidades e a gestão das águas.

A WDFT é análoga a teoria do campo elétrico da física. A carga de ponto negativo em física tem um efeito atraente ao seu redor e gera o seu próprio campo elétrico. A intensidade de um ponto no campo elétrico está relacionada com a grandiosidade da carga

e sua distância da carga central. Assim, as cidades que possuem uma maior demanda atraem os recursos hídricos em seu entorno, o que é semelhante ao efeito das cargas pontuais negativas da física (HUANG *et al.*, 2020; SILAN *et al.*, 2016).

Quando há um aumento no tamanho da carga de água, há um aumento na intensidade do campo de demanda de água gerado. Um campo elétrico na física pode ser sobreposto e a intensidade do campo em um ponto específico pode estar sob a influência de múltiplas cargas. Da mesma forma pode acontecer a sobreposição dos campos de demanda de água. Dessa maneira, a intensidade do campo de demanda de água em um determinado ponto resulta da interação de múltiplas cargas de água na região (SILAN *et al.*, 2016).

Ainda, algumas técnicas de computação são excelentes modelos preditivos para problemas de gerenciamento de demanda, como a regressão linear múltipla (MLR), suavização exponencial (ES), suavização exponencial tripla (ETS) e redes neurais artificiais (RNAs). De acordo com Oyeboade e Ighravwe (2019) a MLR é um modelo usado para prever dois ou mais parâmetros dependentes usando-se de um método de mínimos quadrados para minimizar a soma dos quadrados da diferença entre os parâmetros observados e previstos. Esse método causal são ferramentas sofisticadas de previsão e são ótimos para prever pontos de inflexão na demanda e preparar previsões a longo prazo.

A ES faz parte dos métodos de previsão de média móvel que calcula a média de uma série temporal atribuindo as demandas recentes maior peso do que as demandas iniciais, o que prevê parâmetros dependentes com base na soma ponderada dos valores observados. Esse instrumento de previsão é mais frequentemente utilizado por ser simples e necessitar de um pequeno conjunto de dados para apoiá-los. O fundamento principal do modelo é a tendência da série temporal estável ou regular, e a tendência da série temporal pode ser razoavelmente adiada e, assim, a última tendência histórica persistirá no futuro (RITZMAN; KRAJEWSKI, 2004).

A ETS também é conhecida como modelo de previsão de suavização exponencial corrigida por tendência e sazonalidade, modelo de Holt-Winters ou previsão de Winter. Essa ferramenta é mais adequada em situações em que os dados históricos observados exibem tendências e sazonalidades (WOFURU-NYENKEA; BRIGGSA, 2022). O método compreende a equação de previsão e três equações de atualização, sendo uma para o nível, uma para o declive e outra para a sazonalidade. Há dois tipos desse método de alisamento: o aditivo e o multiplicativo, que depende do tipo de sazonalidade. O

método aditivo ocorre quando as variações sazonais são independentes do nível da série. O método multiplicativo é mais aconselhável nos casos em que as variações sazonais se alteram de forma proporcional ao nível da série (COSTA, 2019).

A RNA é uma técnica de computação inspirada na configuração e nos princípios de funcionamento do sistema nervoso humano. Sua estrutura compreende um conjunto de neurônios artificiais ou *perceptrons*, normalmente montados em três camadas que coletam, interpretam e trocam informações da estrutura de conexões ponderadas. Esse método é considerado não-paramétrico e robusto, além de ser apropriado para modelar séries de tempo, visto que possuem capacidade para analisar sistemas dinâmicos (OYEBODE; IGHRAVWE, 2019).

Nos estudos e análises de variáveis ou dados amostrais, o método de correlação é utilizado para demonstrar como duas ou mais variáveis estão relacionadas entre si. A correlação mede a força ou grau de relacionamento entre dois fatores, sendo estudados através de um gráfico, o diagrama de dispersão e de uma medida chamada coeficiente de correlação linear. O grau de correlação é dado pela covariância entre as duas variáveis aleatórias X e Y que é uma medida numérica de associação linear existente entre elas. As relações lineares entre duas são descritas com o auxílio do gráfico com uma linha reta, chamada linha de tendência ou reta de regressão (BOSCAGLIA, 2013).

O método de correlação linear mais utilizado é o coeficiente de correlação de *Pearson*, que é determinado por r e apresenta algumas características, a saber: os valores variam entre -1 e +1; quanto mais próximo de 1, mais forte, seja associação negativa ou positiva; quando $r = 0$, não há associação; caso a associação seja negativa, uma variável está crescendo e a outra está diminuindo; caso a associação seja positiva, ambas estão crescendo ou diminuindo juntas; o quadrado do seu termo define o Coeficiente de Determinação (r^2) que pode ser interpretado como a proporção da variação em Y que pode ser atribuída à variação em X (NUNES, 2017; BOSCAGLIA, 2013). A classificação dos valores do Coeficiente de *Pearson* é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos valores do Coeficiente de Correlação de *Pearson*

Valor de r (+ ou -)	Interpretação
0,00	Não há correlação
0,01 a 0,09	Correlação muito fraca
0,10 a 0,29	Correlação fraca
0,30 a 0,59	Correlação moderada
0,60 a 0,99	Correlação forte
1,00	Correlação perfeita

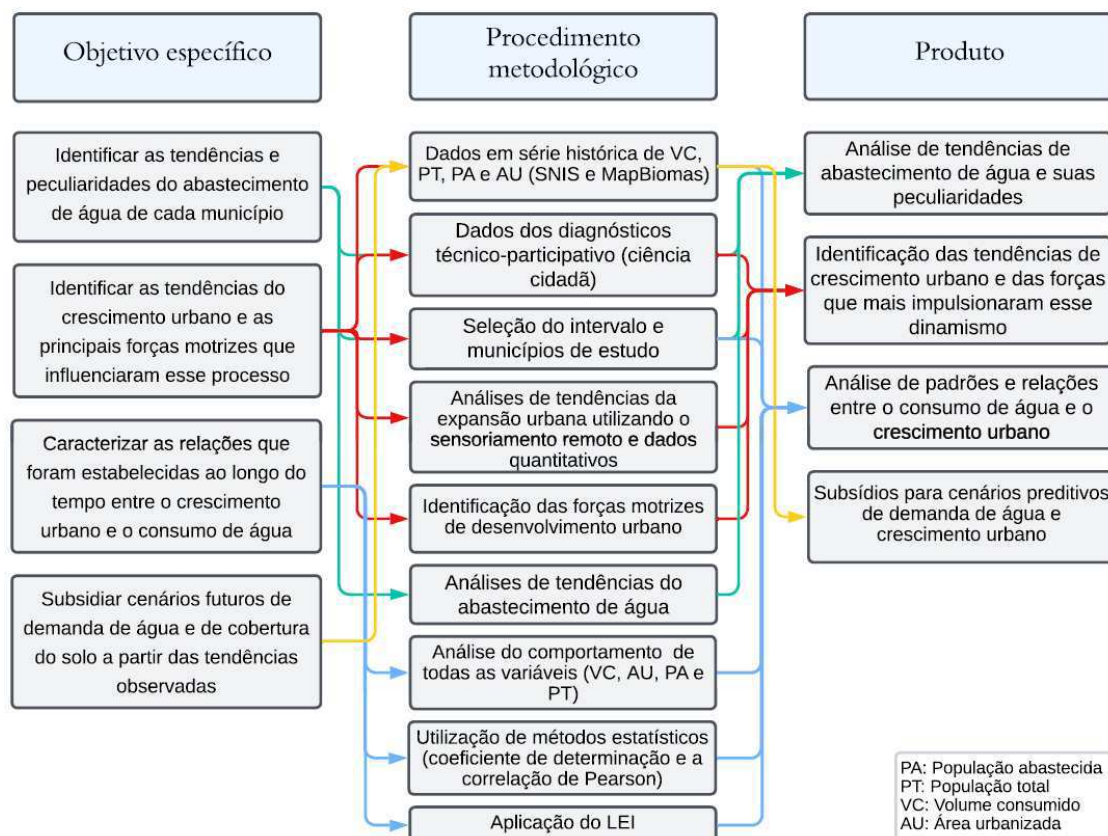
Fonte: Adaptado de Levin e Fox (2004).

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA

Para obtenção dos resultados desta análise, a metodologia embasa-se em quatro objetivos específicos que derivam procedimentos metodológicos. A Figura 4 é uma síntese gráfica da metodologia geral desta dissertação.

Figura 4 - Resumo das etapas metodológicas para conclusão dos objetivos específicos



Fonte: Autoria própria (2023).

3.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS PARA AS ANÁLISES

Para o início do desenvolvimento da pesquisa foi preciso coletar dados em séries históricas de população total, população abastecida por água potável, volume consumido e área urbanizada para as análises de padrões. As três primeiras séries de dados foram retiradas do SNIS e a última série foi extraída diretamente do Projeto MapBiomias (descrito no capítulo anterior). O SNIS é o sistema oficial de informações do setor de saneamento brasileiro, assim, para esse estudo, foram utilizadas as seguintes variáveis:

- **População total do município do ano de referência (POP_TOT):** É a estimativa anual feita pelo IBGE, incluindo a população urbana e rural de um município, sedes municipais e localidades, sendo atendida ou não pelos serviços. A unidade é habitantes (hab).
- **População total atendida com abastecimento de água (AG001):** Corresponde à população urbana que é efetivamente atendida com os serviços acrescida de outras populações atendidas localizadas em áreas não consideradas urbanas, podendo ser áreas rurais ou mesmo com características urbanas, apesar de estarem localizadas em áreas consideradas rurais pelo IBGE. A unidade é habitantes (hab).
- **Volume de água consumido (AG010):** Volume anual de água consumido por todos os usuários, compreendendo o volume micromedido, o volume de consumo estimado para as ligações desprovidas de hidrômetro ou com hidrômetro parado, acrescido do volume de água tratada exportado para outro prestador de serviços. A unidade é 1.000 m³/ano (um mil metros cúbicos por ano).

Para a coleta de dados de expansão urbana utilizou-se o MapBiomas, o GEE (ambiente de desenvolvimento do Mapbiomas) e o QGIS (Sistema de Informação Geográfica de código aberto). O MapBiomas foi utilizado para coletar os produtos das análises de mapeamento anual da cobertura e uso da terra com foco nas manchas urbanas. A coleção usada foi a de número 7.0 e a classe extraída foi a de “Área não vegetada – área urbanizada”, o que, segundo o próprio MapBiomas significa “áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura”. Ou seja, os pixels selecionados equivalem às áreas em que existe qualquer tipo de aglomeração, podendo ser até em uma área rural, mas em que o padrão de ocupação seja semelhante ao urbano (edificações muito próximas, por exemplo) e que, provavelmente, do ponto de vista do saneamento básico, as soluções a serem implantadas ou gerenciadas devem ser coletivas e não individuais como em uma área rural comum. O abastecimento de água, por exemplo, de um conjunto de edificações muito próximas (aglomerado ou localidade) pode lançar mão de uma solução coletiva como um poço compartilhado ou uma cisterna ou caixa d’água pública.

Os arquivos tipo *raster* (matriz de pixels) foram obtidos através do GEE e a edição e elaboração dos mapas foi realizada por meio do software QGIS¹ na versão 3.22.7. Uma

¹ QGIS Development Team, <2023>. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

série histórica de imagens de área urbanizada foi então organizada para posterior análise município a município, além da série histórica de dados de área previamente calculados e fornecidos pelo Mapbiomas para a classe selecionada.

Outra base de dados foi o Produto C (diagnósticos técnicos-participativos) dos Planos Municipais de Saneamento Básico da Paraíba. A partir destes, foi possível identificar o real cenário existente nos municípios quanto a prestação do serviço de abastecimento de água através dos dados coletados em campo, além dos dados de ciência cidadã que apresentam informações mais claras e particularidades de cada município. Além disso, os dados técnicos quanto a caracterização física e socioeconômica do território também estão disponíveis nestes diagnósticos. Essas informações foram usadas, principalmente, para as análises de tendências e base para as análises dos padrões.

O intervalo de estudo e a seleção dos municípios foi realizada de forma simultânea. A escolha dos municípios limitou-se ao conjunto de 49 municípios do estado da Paraíba contemplados pelo PMSB no âmbito do convênio FUNASA/UFPG. Para tanto, foi realizada uma coleta prévia de dados com a finalidade de averiguar a presença das informações necessárias para o estudo e para estabelecer critérios de seleção das cidades de forma a garantir disponibilidade dos dados necessários à análise de todas as séries históricas para o mesmo intervalo de tempo.

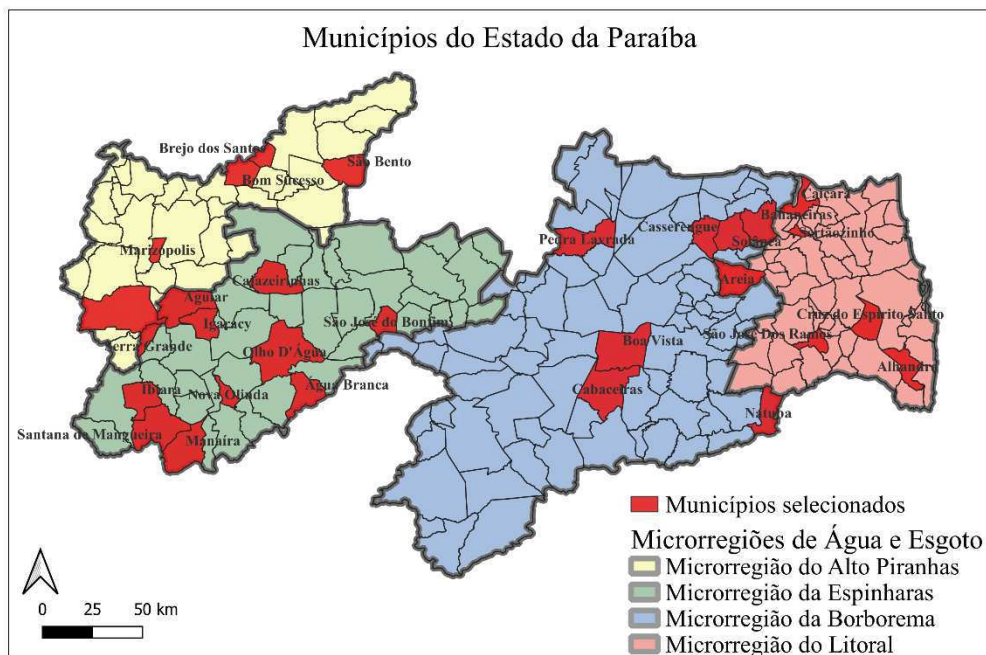
Os seguintes critérios foram utilizados para a seleção dos municípios dentre os contemplados pelo PMSB:

- Municípios com dados de população (urbana e rural) disponível no IBGE;
- Municípios com dados da população (urbana e de aglomerações) abastecida por água potável disponível no SNIS;
- Municípios com dados do volume consumido de água anualmente disponíveis no SNIS;
- Municípios que possuem dados nas bases de dados oficiais sem que haja anos faltosos ou lacunas.

Assim sendo, a partir dos critérios citados, os municípios selecionados foram os seguintes: Água Branca, Aguiar, Alhandra, Areia, Bananeiras, Boa Vista, Bom Sucesso, Brejo dos Santos, Cabaceiras, Caiçara, Cajazeirinhas, Casserengue, Cruz do Espírito Santo, Ibiara, Igaracy, Manaíra, Marizópolis, Natuba, Nova Olinda, Olho D'água, Pedra Lavrada, Santana de Mangueira, São Bento, São José de Piranhas, São José do Bonfim, São José dos Ramos, Serra Grande, Sertãozinho e Solânea.

Dessa maneira, ao sobrepor o conjunto de municípios selecionados nas novas microrregiões de água e esgoto do estado da Paraíba instituídas pela Lei Complementar Nº 168 de 22 de junho de 2021, percebe-se que a seleção contempla municípios em todas as microrregiões (Figura 5).

Figura 5 - Municípios selecionados para o estudo



Fonte: Autoria própria (2022).

A partir dos critérios estabelecidos, foram selecionados seis municípios na microrregião do Litoral (Alhandra, Areia, Caiçara, Cruz do Espírito Santo, São José dos Ramos e Sertãozinho), sete municípios na microrregião da Borborema (Bananeiras, Boa Vista, Cabaceiras, Casserengue, Natuba, Pedra Lavrada e Solânea), onze municípios na microrregião da Espinharas (Água Branca, Aguiar, Cajazeirinhas, Ibiara, Igaracy, Manaíra, Nova Olinda, Olho d'Água, Santana de Mangueira, São José do Bonfim e Serra Grande) e cinco municípios na microrregião do Alto Piranhas (Brejo dos Santos, Bom Sucesso, Marizópolis, São Bento, São José de Piranhas).

Quanto ao intervalo de tempo, observou-se que todos os municípios selecionados possuíam disponibilidade dos dados necessários no horizonte temporal de 2005 a 2020, sem anos faltosos, de forma que intervalo foi considerado para as análises.

3.2 ETAPAS METODOLÓGICAS

Após a coleta dos materiais exposto no subtópico anterior, partiu-se para as etapas metodológicas efetivas desse estudo, que são:

3.2.1 Análises de tendências de crescimento urbano e abastecimento de água

A análise de tendências do crescimento urbano baseou-se: (i) na série histórica de área urbanizada quantificada pelo MapBiomias; (ii) na análise espacial desta classe a partir das imagens extraídas no Mapbiomas, na busca por identificação de vetores de crescimento; (iii) na análise dos dados produzidos pelo PMSB no diagnóstico técnico-participativo de forma a trazer luz às análises (i) e (ii) e auxiliar na identificação de forças motrizes impulsionadoras do crescimento e desenvolvimento urbano.

Para as análises de tendências quanto ao abastecimento de água, baseou-se nos diagnósticos técnico-participativo com a finalidade de identificar o real cenário existente quanto a prestação de serviço de atendimento hídrico e quais as peculiaridades de cada município através dos dados de ciência cidadã.

3.2.2 Análise dos padrões observados

Esta etapa foi dividida em três fases:

A primeira fase é da análise do comportamento de todas as variáveis quantitativas do SNIS e MapBiomias, ou seja, o volume consumido, a área urbanizada, a população total e a população atendida de abastecimento de água entre 2005 e 2020. Nessa subetapa buscou-se investigar os padrões de desempenho dos indicadores e averiguar tipologias que pudessem ser agrupadas (clusterização), além disso, procurou-se analisar as relações que foram estabelecidas dentro do intervalo de análise.

A segunda fase compreende a análise dos padrões das variáveis quantitativas por meio dos métodos estatísticos em uma escala micro no horizonte temporal de 2005 e 2020. Para isso, utilizou-se o coeficiente de determinação e a correlação de *Pearson* entre a área urbanizada extraída do MapBiomias e o volume consumido advindo do SNIS de cada município estudado, buscando entender as associações entre ambos e quais os fatores de influência para a correspondência.

A terceira fase corresponde a análise da expansão urbana através do *Landscape expansion index* (LEI) baseado no trabalho de Omurakunova *et al.* (2020) e no indicador quantitativo de volume consumido informado no SNIS. Essa subetapa procura investigar não somente o quanto a área urbana cresceu (análise quantitativa), mas qual a forma de desenvolvimento territorial do centro urbano de cada município. Sendo assim, o LEI é uma variável adicional à variável quantitativa estudada nas fases anteriores. A análise foi

desenvolvida considerando três intervalos: 2005-2010, 2010-2015 e 2015-2020. Esses horizontes de tempo foram escolhidos com o intuito de observar, com maiores detalhes, as tipologias de crescimento urbano juntamente com a análise das oscilações do volume consumido, e assim, verificar se há padrões e relações entre ambos os indicadores.

3.2.3 Obtenção de subsídios para cenarização preditiva

Finalmente, a última etapa metodológica deste trabalho fornece subsídios quantitativos para cenários preditivos de demanda de água e crescimento urbano a partir das tendências observadas. As previsões foram realizadas no horizonte igual ao período estudado, ou seja, 15 anos e, para isso, usou-se os dados de série histórica coletados no SNIS para a demanda de água e no MapBiomas para a expansão urbana. A ferramenta utilizada foi a Planilha de Previsão do software Excel², sendo 2020 o início e 2035 o final da previsão. Essa função utiliza-se de dois limites de confiança, o inferior e o superior, sendo esses fundamentais para indicar a margem de incerteza ou imprecisão das hipóteses estatísticas. Para esse estudo, são apresentadas as predições dos anos de 2025, 2030 e 2035 de cada município. Essa escolha decorre de uma predição mais sintética, pelo fato da amostra desse estudo ser ampla.

A função de Planilha de Previsão disponível no Excel utiliza o processo de suavização exponencial tripla para, a partir da série observada fazer a previsão. Este é um dos métodos mais usados para previsão de curto prazo, além disso, é de interface e operação relativamente simples. Ademais, Wofuru-Nyenkea e Briggsa (2022) afirmam que, quando comparado a outros métodos, o ETS possui uma precisão média.

O modelo estatístico que o Excel utiliza depende da série histórica, dessa maneira, nesse estudo foi usado o modelo de Holt-Winters aditivo, sendo indicado quando as variações são independentes do nível da série. O intervalo de confiança utilizado foi de 95%, ou seja, espera-se que os pontos futuros ocorram dentro dessa porcentagem com base na previsão.

Destaca-se que para os prognósticos dos municípios que obtiveram uma correlação *muito fraca* e *fraca* foram retirados os pontos de picos, seja de acréscimo e decréscimo, devido serem pontos “fora da curva”, isto é, não retratam a normalidade em que os municípios deveriam estar, caso não tivessem passando pela crise hídrica. Dessa

² O Excel é um software que integra o pacote Office de aplicativos da Microsoft®

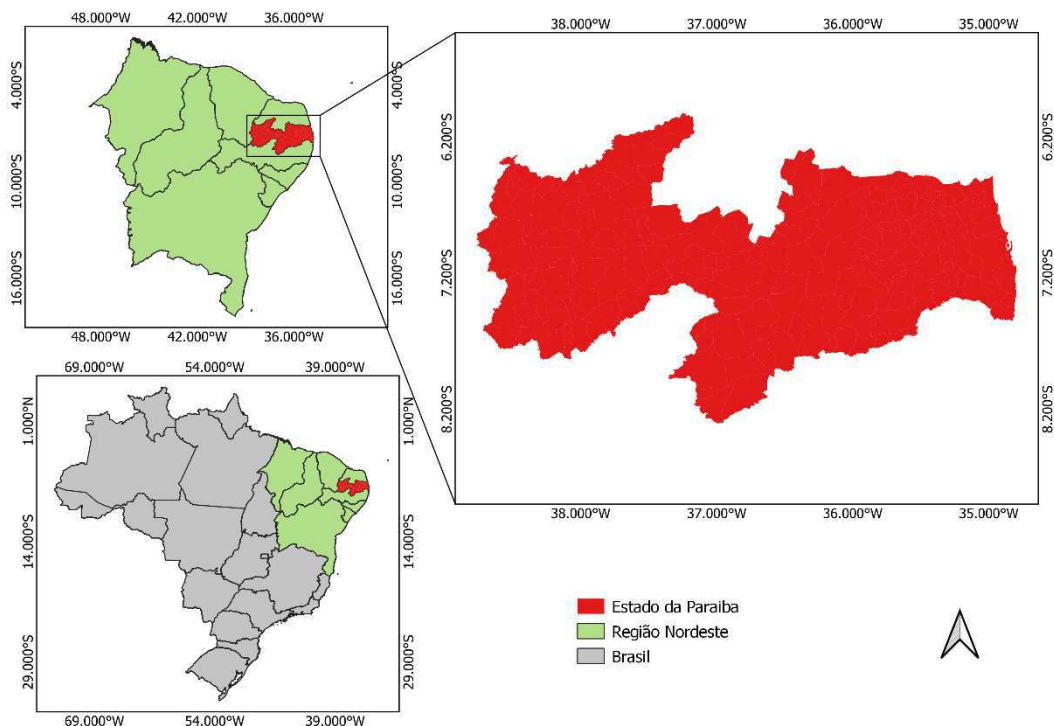
forma, esses pontos foram retirados da série histórica que foram utilizadas para realizar as previsões fazendo com que os prognósticos ficassem mais próximas da realidade.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O Estado da Paraíba está localizado na região Nordeste do Brasil (Figura 6) apresentando uma área de aproximadamente 56.372 km², o que corresponde a 0,662% do território nacional. Limita-se ao norte com Estado do Rio Grande do Norte; a leste, com o Oceano Atlântico; a oeste, com o Estado do Ceará; e ao sul, com o Estado de Pernambuco (FRANCISCO, 2010). A Paraíba caracteriza-se como um dos menores estados do país, e está dividido em 223 municípios (NETO, 2010).

O Estado está quase todo inserido na região semiárida do Brasil que é afetada pela alta variabilidade de precipitação e eventos de seca severa ao longo do tempo, ocasionando problemas sazonais de escassez hídrica (SILVA *et al.*, 2021). Essa região é considerada a área mais vulnerável à seca do país, sendo a variabilidade climática, alta evapotranspiração, aumento da demanda per capita por água, LULC e problemas com a gestão da água os principais contribuintes para esse cenário (COELHO *et al.*, 2018; TAVARES *et al.*, 2019).

Figura 6 - Localização do Estado da Paraíba



Fonte: Autoria própria (2022).

O semiárido nordestino apresenta alta densidade populacional, de 66,70hab/km² (IBGE, 2010), o que, aliado às secas prolongadas, pode causar uma procura por fontes alternativas de subsistência o que pode implicar em alterações na forma de apropriação e uso do solo (RUFINO; SILVA, 2017). O IBGE estima que a população paraibana já ultrapassou 4.059.905 habitantes em 2021, sendo a população urbana a maioria, acompanhando os índices do último censo, em que os habitantes dos centros urbanos representavam 75,36% do total da população (IBGE, 2010).

O relevo da Paraíba altera-se entre baixadas a depressões no sentido leste – oeste e a vegetação varia com o relevo. Há uma tendência de mudanças de cobertura vegetal do tipo planaltos costeiros com arbustos e gramíneas abundantes da parte mais litorânea para a vegetação do tipo caatinga, composta por espécies arbóreas como baraúna e arbustos, no sentido oeste (SANTOS *et al.*, 2019).

Segundo Becker *et al.* (2011), a Paraíba é o Estado nordestino que apresenta a maior variabilidade espacial de precipitação, alternando os valores totais médios anuais dos 300 mm no Cariri paraibano a superiores a 1700 mm na faixa litorânea. Ademais, o comportamento temporal da precipitação apresenta dois regimes básicos, de fevereiro a maio abrangendo o setor centro-oeste, e abril a julho ao longo do setor leste do Estado, ocorrendo esse fenômeno em um pequeno espaço territorial, um pouco mais de 50 mil quilômetros quadrados.

3.3.1 Características de abastecimento de água

A caracterização dos municípios objetos de estudo são descritas abaixo, focando-se nas peculiaridades de abastecimento de água de cada cidade. Esta foi feita com base no Produto C (diagnósticos técnico-participativo) dos Planos Municipais de Saneamento Básico da Paraíba e com auxílio das informações dos volumes dos mananciais, disponibilizados pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs).

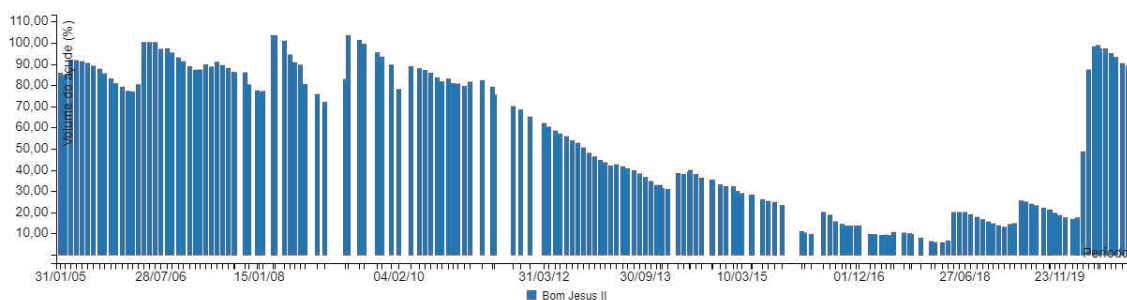
ÁGUA BRANCA

O município de Água Branca possuía 96% dos domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral e 4% por outras formas de abastecimento, sendo o carro-pipa a principal forma de abastecimento registrada no ano de 2010. O serviço de abastecimento de água é prestado via Companhia de Água e Esgoto da Paraíba

(CAGEPA) através do Sistema Isolado de Água Branca que capta água do açude Bom Jesus II, atendendo apenas a cidade (PMSB-PB, 2022).

O manancial dispõe de água para atendimento à população, sendo que o período mais crítico do volume do reservatório foi registrado entre 2015-2017, quando o semiárido brasileiro atravessou uma prolongada crise hídrica (Figura 7).

Figura 7 - Volume do açude Bom Jesus II



Fonte: AESA (2023).

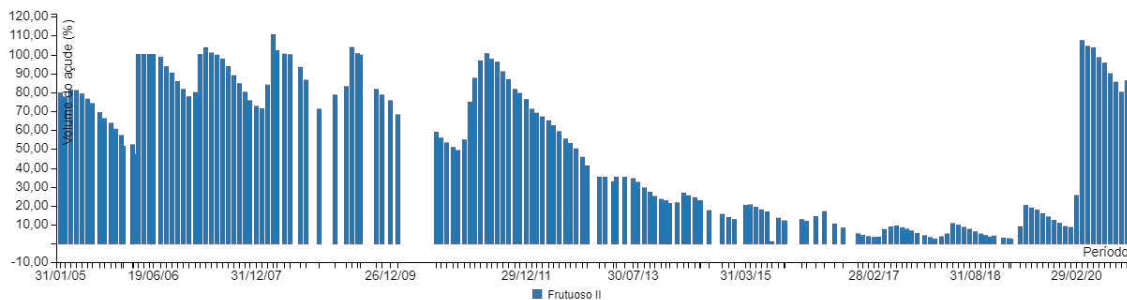
Em algumas localidades o abastecimento acontece de forma intermitente, em outras a água fornecida apresenta coloração amarelada. Há um rodízio de abastecimento coordenado por funcionários da concessionária, a partir de uma divisão por setores. Além da intermitência dos serviços, constatou-se que a rede existente é antiga e não é mais capaz de atender a população de forma adequada mesmo o açude sendo suficiente para tal. Nas localidades, onde o abastecimento não é realizado pela prestadora, há irregularidade no serviço, além disso, o tratamento é parcial, geralmente realizado apenas com a utilização de cloro (PMSB-PB, 2022).

AGUIAR

No ano de 2010, Aguiar possuía 98% dos domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral, 1% por outras formas de abastecimento e 1% não possuía atendimento. A população da área urbana do município é abastecida majoritariamente pela CAGEPA através do Sistema Isolado de Aguiar, em que a captação é feita do açude Frutuoso II. Nas regiões que não são abastecidas por esse sistema, é utilizado o abastecimento por carro-pipa ou poços (PMSB-PB, 2022).

A partir de 2010, o nível do reservatório começou a diminuir de forma linear e atingiu 10% de sua capacidade máxima nos anos de 2017 e 2018 (Figura 8). Durante o período em que o reservatório se encontrava em situação crítica, foi necessário operar o sistema em racionamento sazonal. Em 2022, o açude voltou aos níveis de normalidade e o abastecimento é contínuo (PMSB-PB, 2022).

Figura 8 - Volume do açúcar Frutuoso II



Fonte: AESA (2023).

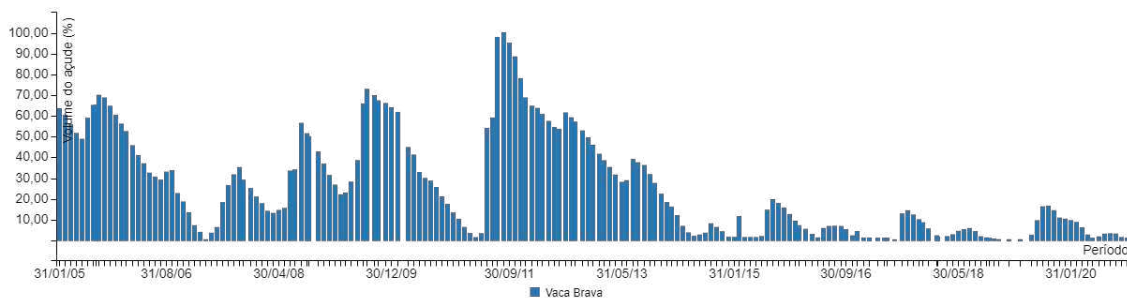
O desabastecimento ou abastecimento irregular pode acontecer em decorrência da infraestrutura hídrica, da escassez do recurso hídrico, do nível de desperdício no consumo, do nível de perdas provocadas pelo prestador de serviços e pelo subdimensionamento do sistema, sendo este a principal causa no município de Aguiar, a qual foi questionada pelos moradores. Por esse motivo, a água não chega em todos os locais devido à pressão que não consegue vencer a topografia do terreno em bairros mais altos. Ainda, em algumas localidades em que não há abastecimento por parte da prestadora, há irregularidade no serviço, além disso, o tratamento é parcial, geralmente realizado apenas com a utilização de cloro (PMSB-PB, 2022).

ALHANDRA

Em Alhandra, 94% dos domicílios urbanos possuíam acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral, 5% por outras formas de abastecimento e 1% por meio de poço ou nascente na propriedade no ano de 2010. O serviço de abastecimento de água na área urbana é prestado pela CAGEPA através do Sistema Isolado de Alhandra, sendo a água captada no Rio Taperubus, que abastece apenas o município (PMSB-PB, 2022).

Os fatores que estão relacionadas às deficiências de abastecimento, podem ter relação com a insuficiência do sistema em razão do crescimento populacional. A prestadora afirma que a falta de água ocorre de maneira pontual, relacionada a manutenção do sistema, em contrapartida, a população afirma que a infraestrutura atende toda a sede do município, no entanto os moradores não tem água nas torneiras todos os dias e em alguns locais, não há abastecimento em um período específico do dia. Nas localidades onde o abastecimento não é realizado pela prestadora, há irregularidade no serviço, além disso, o tratamento é parcial, geralmente realizado apenas com a utilização de cloro e em áreas irregulares e informais, não há rede de abastecimento (PMSB-PB, 2022).

Figura 10 - Volume do Açude Vaca Brava



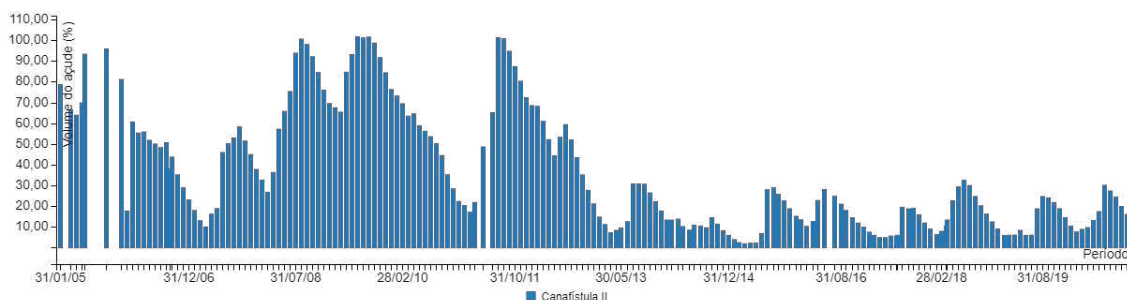
Fonte: AESA (2023).

Alguns fatores que estão relacionadas com as deficiências ao atendimento hídrico podem estar ligados ao subdimensionamento do sistema em razão do crescimento populacional e falta do recurso. Os principais problemas relatados pela população foram que, nas localidades em que o abastecimento não é realizado pela prestadora, há irregularidade no serviço, ainda, como o tratamento é parcial, geralmente é realizado apenas com a utilização de cloro ou fervura (PMSB-PB, 2022).

BANANEIRAS

No município de Bananeiras 87% dos domicílios urbanos possuíam acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral, 5% através de outras formas, 7% por meio de poço ou nascente na propriedade e 1% não foi informado no ano de 2010. O serviço de abastecimento de água é prestado pela CAGEPA através do Sistema Integrado Cacimba de Várzea – Canafistula, utilizando a Barragem de Canafistula II, que também abastece o município de Solânea. Desde 2012 o manancial vem apresentando volumes baixos de água (Figura 11) e em setembro de 2021 entrou em colapso, não sendo mais possível captar água para a distribuição, o que acarretou no abastecimento de todo o município através de carro-pipa ou chafariz. A prestadora de serviço suspendeu a cobrança de água alegando a crise hídrica (PMSB-PB, 2022).

Figura 11 - Volume da Barragem de Canafistula II

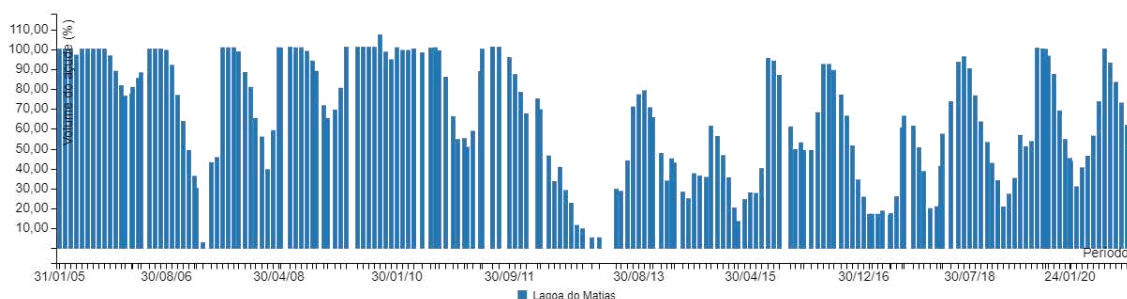


Fonte: AESA (2023).

Uma parcela da população é atendida pelo Sistema de abastecimento Lagoa do Matias, o qual capta água da Barragem Lagoa do Matias, também de responsabilidade da CAGEPA. A população do distrito que é atendida por esse sistema alega que a barragem está com nível de água muito baixo e que a água retirada não é tratada, sendo a qualidade da água crítica, além disso, não há abastecimento todos os dias e em algumas residências não há recebimento de água encanada (PMSB-PB, 2022).

O manancial apresenta alternâncias de aumento e decréscimo mensalmente durante os anos analisado (2005 e 2020). Os menores volumes observados foram no ano de 2012. Nos anos seguintes, os volumes foram mais baixos, mas não menor que 30% da capacidade máxima (Figura 12).

Figura 12 - Volume do Açude Lagoa do Matias



Fonte: AESA (2023).

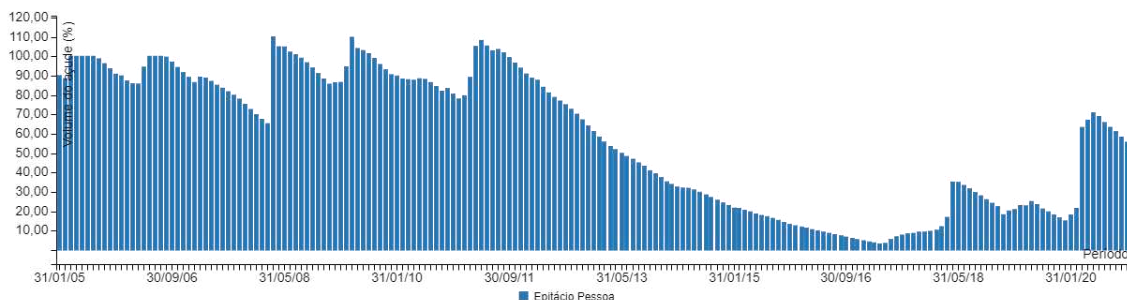
O sistema de abastecimento de água com captação em poços é de responsabilidade da prefeitura, que utiliza mananciais localizados no próprio município, porém, há irregularidade no serviço e o tratamento é parcial. Quanto ao abastecimento no geral, a população alega que é comum o abastecimento por meio de chafarizes e caixas coletivas; há necessidade da instalação de uma quantidade maior de caixas d'água para auxiliar na distribuição; quando a demanda é muito alta, ocasiona falta d'água fazendo com que a população precise comprar; e, quanto aos chafarizes, a captação é de água de poço, sendo a qualidade do recurso suspeita (PMSB-PB, 2022).

BOA VISTA

Boa Vista possuía 99% dos domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral e 1% não possuía atendimento em 2010. O serviço de abastecimento de água é prestado pela CAGEPA através do Sistema Integrado de Abastecimento da Adutora do Cariri. O manancial utilizado é o açude Epitácio Pessoa, popularmente conhecido como Boqueirão, que também abastece mais 19 municípios

(PMSB-PB, 2022). A região enfrentou uma grave crise hídrica (2012-2018) e o sistema chegou ao seu colapso em 2017 (Figura 13). O cenário de disponibilidade hídrica só foi modificado devido a afluência das águas vindas do Projeto de Integração do Rio São Francisco (PISF).

Figura 13 - Volume do Epitácio Pessoa (Boqueirão)



Fonte: AESA (2023).

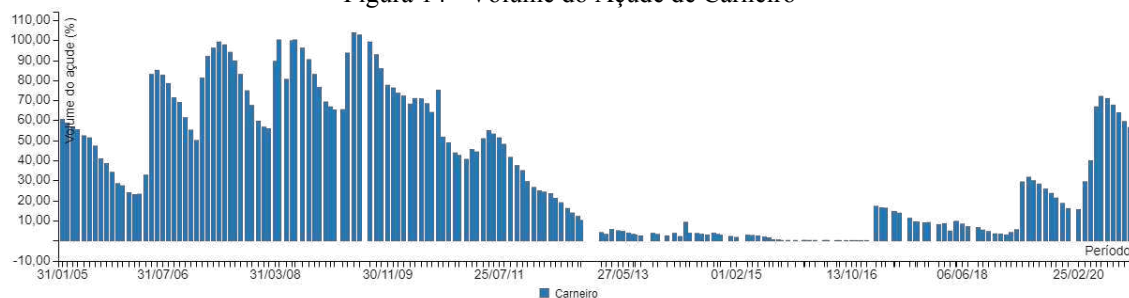
A população relata que em algumas localidades o serviço acontece de forma intermitente, não recebendo água em determinados dias da semana. Nos períodos de estiagem, a população passa até 15 dias sem água nas torneiras. Na sede, os moradores reclamam da baixa vazão e do subdimensionamento da rede, que a água não chega em todos os locais devido à pressão da água que não consegue vencer a topografia do terreno em pontos mais altos. Nesses pontos, o abastecimento é feito por carros-pipa (PMSB-PB, 2022).

BOM SUCESSO

A porcentagem de domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água era de 94% por meio de rede geral, 2% por outras formas de abastecimento e 4% por meio de poço ou nascente na propriedade no ano de 2010. A população da área urbana é abastecida majoritariamente pela CAGEPA através do Sistema Integrado Carneiro através da captação feita no Açude do Carneiro que também abastece os municípios de Jericó, Lagoa, Brejo dos Santos e Mato Grosso. Nas regiões da cidade que não são abastecidas por esse sistema, é utilizado o abastecimento por carro-pipa (PMSB-PB, 2022).

Em 2020, o manancial encontrava-se com cerca de 50% da sua capacidade, mas atingiu níveis críticos durante anos, com volumes inferiores a 5% de sua capacidade, chegando a secar, levando ao colapso do serviço de abastecimento (Figura 14).

Figura 14 - Volume do Açude de Carneiro



Fonte: AESA (2023).

A população relata que o abastecimento é intermitente por deficiência do sistema relacionada a problemas operacionais ou realização de manutenções, havendo fornecimento intercalado entre as localidades, que utilizam caixas d'água para armazenamento. Ademais, a rede não atende 100% a sede do município devido ao crescimento dos novos bairros e, em épocas de seca, há dificuldades no abastecimento devido aos baixos níveis do manancial. Nas localidades, onde o abastecimento não é realizado pela prestadora, há irregularidade no serviço, além disso, o tratamento é parcial, geralmente realizado apenas com a utilização de cloro (PMSB-PB, 2022).

BREJO DOS SANTOS

Em 2010, cerca de 99% dos domicílios urbanos possuíam acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral e 1% possuíam outras formas de abastecimento no município de Brejo dos Santos. O serviço é prestado pela CAGEPA através do Sistema Integrado Carneiro através da captação no Açude do Carneiro que também abastece Jericó, Lagoa, Bom Sucesso e Mato Grosso (todos municípios paraibanos). O reservatório atingiu níveis críticos entre os anos de 2012 e 2019 (Figura 14), o que levou ao colapso do serviço de abastecimento. Nas regiões da cidade que não são abastecidas por esse sistema, é utilizado o abastecimento por carro-pipa (PMSB-PB, 2022).

A população relatou que há problemas com relação a distribuição de água do sistema por mais que a rede atenda 100%, a frequência no abastecimento muda de acordo com a localidade. Em um determinado bairro, os moradores não conseguem pagar pelo serviço, sendo necessário utilizar cisternas e comprar água de poços. Ademais, foram relatados problemas com relação ao subdimensionamento da rede que não atende ao crescimento populacional do município, e, por esse motivo, a água chega com baixa pressão em locais mais altos. Ainda, há muitos problemas de extravasamento devido a tubulação da rede muito antiga. Quanto a essas problemáticas, a prestadora do serviço

informou que a intermitência no abastecimento ocorre em período de racionamento, quando os níveis do açude baixam o suficiente (PMSB-PB, 2022).

CABACEIRAS

No ano de 2010, 100% dos domicílios urbanos possuíam acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral. O serviço de abastecimento de água é prestado pela CAGEPA através do Sistema Integrado de Abastecimento da Adutora do Cariri, utilizando o açude Epitácio Pessoa (Figura 13) que abastece mais 19 municípios. Em 2022, o reservatório encontrava-se em situação de normalidade, mas chegou ao colapso no ano de 2017 (PMSB-PB, 2022).

Os moradores relatam que o abastecimento por parte da prestadora de serviço acontece de forma intermitente devido às deficiências na adutora e no reservatório, sendo interrompido por três dias na semana. Ademais, a água não chega em todos os locais devido à pressão que não consegue vencer a topografia do terreno em bairros mais altos. Além disso, os bairros novos não são atendidos em sua totalidade pela rede, o que contradiz os dados oficiais de 100% de atendimento urbano. Algumas localidades utilizam carros-pipa como forma de abastecimento. Também foram verificados muitos relatos de furto de água da adutora (PMSB-PB, 2022).

CAIÇARA

Caiçara possuía 97% dos domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral e 3% por outras formas de abastecimento em 2010. O serviço é prestado pela CAGEPA através do Sistema Integrado Lagoa do Matias que capta água da Barragem Lagoa do Matias. Esse manancial apresenta oscilações no volume de água nos últimos anos (Figura 12). Nas regiões da cidade que não são abastecidas por esse sistema, é utilizado o abastecimento por carro-pipa operados pela Prefeitura Municipal e cisternas disponibilizadas pela CAGEPA, porém, não há tratamento da água antes da distribuição e a coleta é feita de forma manual, através de baldes, para o uso próprio (PMSB-PB, 2022).

Algumas localidades possuem como manancial de abastecimento as águas subterrâneas em que há um sistema de abastecimento com uma estrutura rústica. Essas regiões são abastecidas por poços, mas não há a existência de rede de distribuição, sendo essa através de chafarizes. Esse meio de abastecimento é tido como Solução Alternativa Coletiva (PMSB-PB, 2022).

Os moradores relataram que o abastecimento não ocorre de maneira regular em todas as áreas atendidas e desde 2021 é feito racionamento do sistema devido ao colapso do reservatório. Há anos o município é abastecido por meio de um sistema de rodízio, no qual os moradores passam de quinze a trinta dias sem água nas torneiras. Além disso, o abastecimento pela rede ocorre em um período de 2 a 3 dias nesse intervalo de tempo. A água não chega em todos os locais da rede devido à pressão que não consegue vencer a topografia do terreno em bairros mais altos (PMSB-PB, 2022).

CAJAZEIRINHAS

Em 2010, Cajazeirinhas possuía 97% dos domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral e 3% por outras formas de abastecimento. O serviço no município é prestado via contrato de Concessão para a CAGEPA através do Sistema Isolado de Cajazeirinhas que capta água no Rio Piancó. Nas regiões da cidade que não são abastecidas por esse sistema, é utilizado o abastecimento por carro-pipa (PMSB-PB, 2022).

Alguns problemas foram relatados pela população, a saber: devido a cidade ser dividida em duas zonas, o abastecimento é intercalado, ocorrendo dia sim e dia não, além disso, a água não chega em todos os locais devido à pressão que não consegue vencer a topografia do terreno em bairros mais altos. Em contrapartida, a CAGEPA apontou que o principal motivo da intermitência é que a rede de abastecimento não atende com eficiência devido ao crescimento acelerado da população e do número de residências, assim o sistema não consegue suprir a demanda (PMSB-PB, 2022).

CASSERENGUE

Casserengue possuía 94% dos domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral, 5% destes domicílios possuem outras formas de abastecimento e 1% através de água armazenada em cisternas de captação de água de chuva em 2010. O serviço de abastecimento de água é prestado pela CAGEPA, sendo a população majoritariamente abastecida através do Sistema Integrado Casserengue. O manancial utilizado para o abastecimento são a Fonte da Mata, Fonte Barragem, Fonte da Lavanderia e um poço. Nas regiões da cidade que não são abastecidas por esse sistema, é utilizado o abastecimento por carro-pipa operados pela Prefeitura municipal, não havendo tratamento da água antes da distribuição (PMSB-PB, 2022).

Segundo a população, o abastecimento não ocorre de maneira regular em todas as áreas atendidas e a intermitência pode ser atribuída a problemas de operação e gestão de demanda. Ademais, a água não chega a todos os locais devido à pressão que não consegue vencer a topografia do terreno em bairros mais altos e que a capacidade do reservatório de distribuição do sistema não é suficiente. Em contrapartida, a CAGEPA informa que a rede de abastecimento não atende com eficiência devido ao crescimento da população e do número de residências. Atualmente o abastecimento pela prestadora foi interrompido e o sistema (segundo a população), está em colapso desde o final de 2021 (PMSB-PB, 2022).

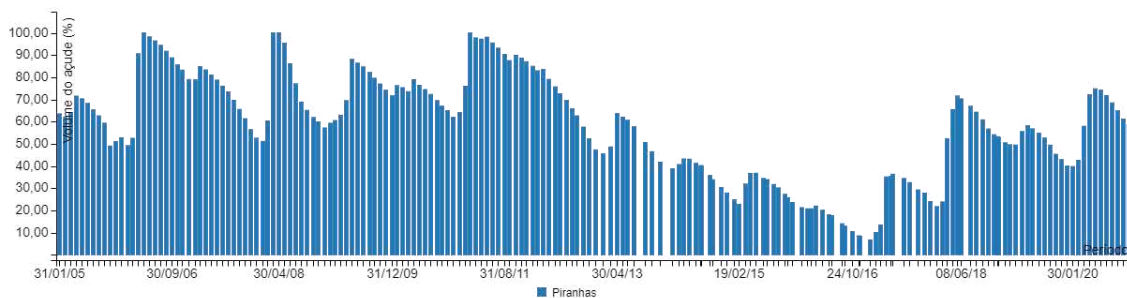
CRUZ DO ESPÍRITO SANTO

Em Cruz do Espírito Santo, 94% dos domicílios urbanos possuía acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral, 3% por poço ou nascente na propriedade e 3% possuíam outra forma de abastecimento de água em 2010. O serviço de abastecimento de água na área urbana é prestado pela CAGEPA que abastece todos os bairros através do Sistema de Abastecimento Isolado de Cruz do Espírito Santo utilizando o manancial riacho das Folhas (Rio Eugenio Obim). A população relatou o subdimensionamento da rede e a baixa capacidade de armazenamento do sistema, que é insuficiente em períodos de maior consumo. Algumas das localidades da zona urbana, não são atendidas pelo serviço de abastecimento da CAGEPA (por ser área do INCRA), mas possui cobertura da rede (PMSB-PB, 2022).

IBIARA

Ibiara possuía 99% dos domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral e 1% por outras formas de abastecimento em 2010. O serviço de abastecimento de água é prestado pela CAGEPA que atende majoritariamente a população urbana através do Sistema Isolado de Ibiara utilizando o açude de Piranhas. Entretanto, a captação não se dá diretamente na barragem, mas sim em um afluente do Rio Piranhas, chamado Santa Rita (PMSB-PB, 2022). Esse manancial apresentou volumes de aproximadamente 60% de sua capacidade máxima em quase todo o intervalo analisado, com exceção de 2014 até 2016, em que o nível do açude atingiu 10% de sua capacidade total (Figura 15).

Figura 15 - Volume do Açude de Piranhas



Fonte: AESA (2023).

A população relatou alguns problemas na sede em relação ao subdimensionamento da rede e devido a água não chegar em todos os locais em detrimento da pressão que não consegue vencer a topografia do terreno em bairros mais altos. Além disso, há muito extravasamento na rede e encanações obstruídas e algumas das localidades da zona urbana como as áreas de crescimento urbano e loteamentos novos ainda sem nome não são atendidas pela rede do sistema, sendo o abastecimento feito por meio de soluções alternativas (PMSB-PB, 2022).

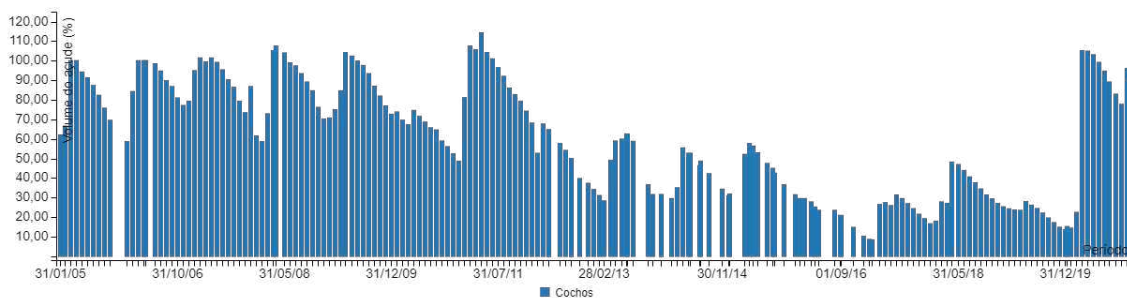
Nas regiões da cidade que não são abastecidas por esse sistema, é utilizado o abastecimento através de outras fontes como poços sob responsabilidade da Prefeitura Municipal de Ibiara. Porém, há intermitência, funcionando em torno de 2 a 3 horas por dia e não há tratamento da água antes da distribuição, mas é fornecido hipoclorito de sódio pelos agentes comunitários. Os moradores informaram que em algumas casas não há vazão suficiente para um bom funcionamento e que o volume do reservatório não é suficiente para abastecer todas as famílias do distrito (PMSB-PB, 2022).

IGARACY

Igaracy possuía 97% dos domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral e 3% possuem outras formas de abastecimento em 2010. O serviço de abastecimento de água nessa área é prestado pela CAGEPA que atende majoritariamente a população através do Sistema Isolado de Igaracy, o qual capta água do açude Boqueirão dos Cochos que abastece apenas o município (PMSB-PB, 2022).

Esse açude apresenta volumes dentro da normalidade na maioria dos anos analisados, entre 2005 e 2020, porém, entre 2013 e 2019 os volumes apresentados foram menores, o que pode ser explicado pelo período em que o semiárido passou por uma prolongada crise hídrica (Figura 16).

Figura 16 - Volume do Açude Boqueirão dos Cochos



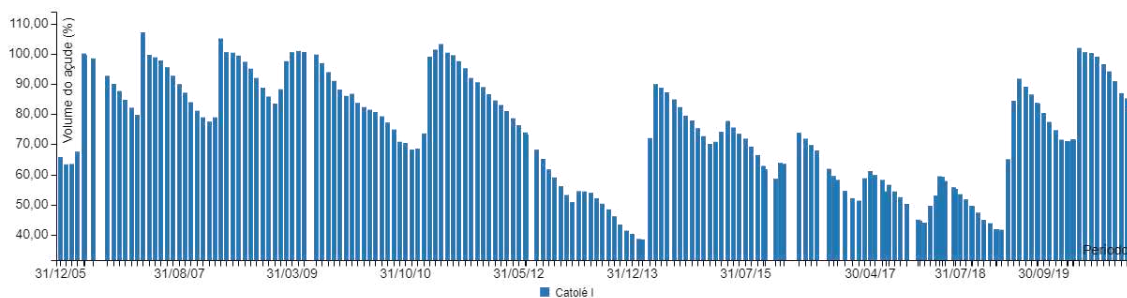
Fonte: AESA (2023).

Há sérias deficiências no fornecimento do serviço de abastecimento de água em alguns bairros em detrimento das interrupções nos serviços serem constantes, passando até dez dias sem receber água devido à realização de manobras e reparos na rede. Ademais, o sistema é antigo e com o crescimento da cidade, passou a não mais atender de mais de forma satisfatória. Ainda, a água tem cor escura e gordurosa, chegando em alguns dias a se tornar-se inutilizável. Nas regiões da cidade que não são abastecidas por esse sistema ou em situações de intermitência na prestação do serviço, é utilizado o abastecimento por carro-pipa operados pela Prefeitura municipal que captam água no açude Cochos e não é realizado tratamento da água, sendo distribuído por meio de chafarizes (PMSB-PB, 2022).

MANAÍRA

Em 2010, o município de Manaíra possuía 97% dos domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral e 3% possuem outras formas de abastecimento. O serviço de abastecimento de água nessa área é prestado pela CAGEPA que atende majoritariamente a população urbana através do Sistema Isolado de Manaíra que capta água no açude Catolé I (Figura 17) que foi classificado como com baixa vulnerabilidade de acordo com os indicadores de segurança hídrica de avaliação de mananciais e sistemas produtores (PMSB-PB, 2022).

Figura 17 - Volume do Açude Catolé I



Fonte: AESA (2023).

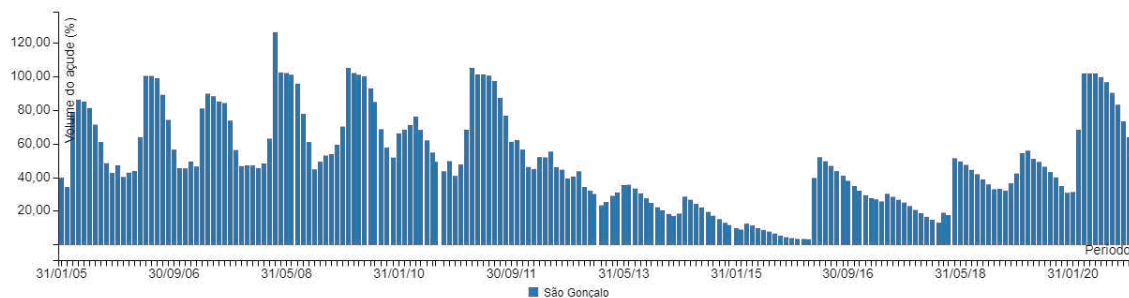
Em certas localidades em que o abastecimento é feito pela rede através da prestadora, há atendimento somente em dois dias na semana e muitas vezes, a água não chega com boa qualidade. Em outras localidades, os moradores relataram que o abastecimento é feito apenas em um dia na semana, e que muitas vezes não passa 24 horas, além disso, a qualidade da água varia bastante, as vezes barrenta e as vezes cristalina, piorando no período seco, que o sabor é desagradável (PMSB-PB, 2022).

Nas regiões da cidade que não são abastecidas por esse sistema, é utilizado o abastecimento através de carro-pipa sob responsabilidade da Prefeitura Municipal de Manaíra, sendo a captação realizada no Açude Mont Videl. Há irregularidade no serviço e o tratamento é parcial, geralmente realizado apenas com a utilização de cloro (PMSB-PB, 2022).

MARIZÓPOLIS

Marizópolis possuía 98% dos domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral e 2% possuem outras formas de abastecimento. Esse serviço é prestado via contrato de Concessão para a CAGEPA, que abastece majoritariamente a população urbana através do Sistema Integrado de São Gonçalo que capta água Açude São Gonçalo e atende apenas ao município (PMSB-PB, 2022). Os volumes armazenados no açude entre 2005 e 2020 são considerados dentro da normalidade, entretanto, atingiu níveis críticos (inferiores a 5% da capacidade máxima) durante alguns meses nos anos de 2015 e 2016 (Figura 18).

Figura 18 - Volume do Açude São Gonçalo



Fonte: AESA (2023).

Os moradores relataram que o abastecimento ocorre por doze horas durante o dia de forma ininterrupta quando o manancial está em situação de normalidade. Em período de escassez, o fornecimento é reduzido e em períodos mais críticos, o abastecimento ocorria uma vez por semana. Ainda, há incapacidade da rede que não atende ao crescimento populacional do município, e, por esse motivo, a água chega com baixa pressão em locais mais altos. Em locais da zona urbana com maiores problemas com relação ao abastecimento da rede, há o abastecimento por meio de carros-pipa da Prefeitura, porém, há irregularidade no serviço e o tratamento é parcial, geralmente realizado apenas com a utilização de cloro (PMSB-PB, 2022).

NATUBA

Em 2010, Natuba possuía 91% dos domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral, 2% utilizavam água da chuva armazenada em cisterna, 6% possuíam outras formas de abastecimento e 1% não foi informado. O serviço de abastecimento de água na área urbana é prestado pela CAGEPA que abastece majoritariamente a população urbana através do Sistema Integrado de Natuba. O sistema capta água de duas fontes hídricas: o açude Natuba e a barragem de nível do Riacho Caiana. Esses mananciais abastecem também os municípios de Umbuzeiro e Santa Cecília. Não foram obtidas informações a respeito dos volumes dos reservatórios. A população relata que há interrupções no abastecimento, mas que essas se devem, geralmente, quando há problemas com relação a energia ou realização de manutenção no sistema e que a água fornecida apresenta coloração amarelada (PMSB-PB, 2022).

Nas regiões da cidade que não são abastecidas por esse sistema é utilizado o abastecimento por redes a partir de açudes ou carro-pipa. Ainda, algumas áreas urbanas são abastecidas sob responsabilidade da Prefeitura Municipal de Natuba utilizando o Açude local de Pirauá. As localidades do distrito parcialmente ou não atendidas por esse

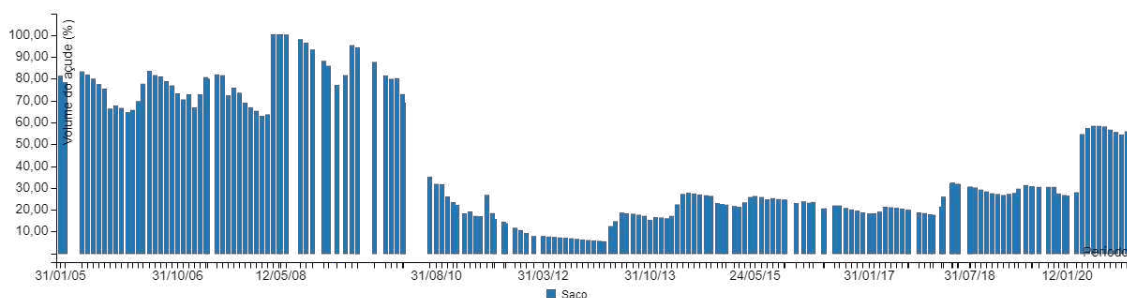
sistema, utilizam carro-pipa para o complemento do abastecimento. Os moradores relataram que o sistema está ultrapassado e não é suficiente para atender a demanda local. Além disso, em algumas regiões não há pressão suficiente para o abastecimento contínuo, havendo revezamento, a cada dia uma rua diferente é abastecida (PMSB-PB, 2022).

NOVA OLINDA

O município de Nova Olinda possuía 99% dos domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral, e 1% possui outras formas de abastecimento. Esse serviço é prestado pela CAGEPA que abastece majoritariamente a população da área urbana através do Sistema Isolado de Nova Olinda que capta água do Açude Saco (PMSB-PB, 2022).

Desde 2020, a barragem mantém 50% da sua capacidade máxima, mas no ano de 2012 apresentou níveis baixos, chegando a volumes menores que 10% do seu total (Figura 19).

Figura 19 - Volume do Açude Saco



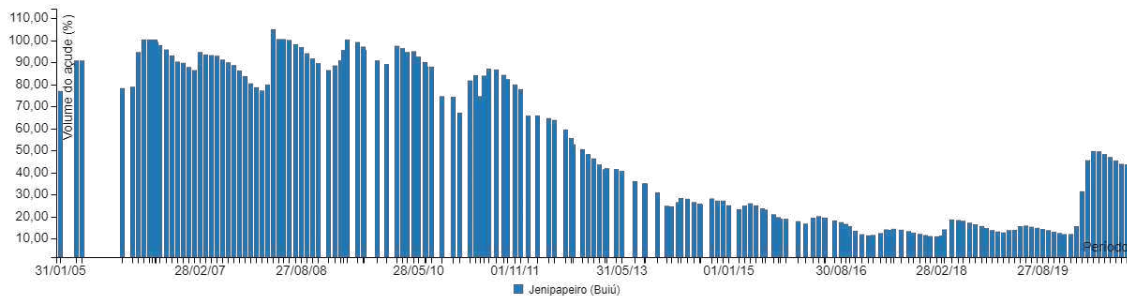
Fonte: AESA (2023).

Segundo os moradores, a rede atende 100% da sede e interrupções no abastecimento ocorrem de maneira esporádica, devido a problemas operacionais. Porém, a rede não atende ao crescimento populacional do município, e, por esse motivo, a água chega com baixa pressão em locais mais altos. Ademais, um distrito que é atendido por um sistema de abastecimento de água sem tratamento possui dois poços em que a água é distribuída por rede com baixa vazão e há incapacidade no sistema. Há irregularidade no serviço e o tratamento é parcial, geralmente realizado apenas com a utilização de cloro. Nas regiões da cidade que não são abastecidas por esse sistema, é utilizado o abastecimento através de carro-pipa (PMSB-PB, 2022).

OLHO D'ÁGUA

Olho D'Água possuía 98% dos domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral e 2% por outras formas de abastecimento em 2010. O serviço de abastecimento de água na zona urbana é prestado pela CAGEPA através do Sistema Isolado Olho D'água que capta água do Açude Jenipapeiro, também conhecido como Buiú (PMSB-PB, 2022). Esse manancial apresentou volumes mais baixos no período 2015-2019 e depois voltou a apresentar estado de normalidade (Figura 20).

Figura 20 - Volume do Açude Jenipapeiro



Fonte: AESA (2023).

Algumas áreas são abastecidas utilizando os Sistemas de Abastecimento de Água sob responsabilidade da Prefeitura Municipal de Olho D'Água. Este sistema capta água do açude Socorro, também chamado Açude Barrocão. Além da instalação, a Prefeitura é responsável pela manutenção e operação do sistema (PMSB-PB, 2022).

Os moradores relataram que os bairros mais distantes possuem dificuldades quanto ao abastecimento, além disso, um dos bairros não é abastecido devido à falta de documentação, apesar de já possuir rede. Ademais, nas localidades onde o abastecimento não é realizado pela prestadora, há irregularidade no serviço e o tratamento é parcial, geralmente realizado apenas com a utilização de cloro (PMSB-PB, 2022).

PEDRA LAVRADA

No município de Pedra Lavrada 99% dos domicílios urbanos possuíam acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral e 1% possuíam outras formas de abastecimento em 2010. O serviço é prestado pela CAGEPA que abastece todos os bairros da zona urbana através do Sistema Integrado de Abastecimento da Adutora Do Cariri utilizando o açude Eptácio Pessoa (Figura 13) (PMSB-PB, 2022).

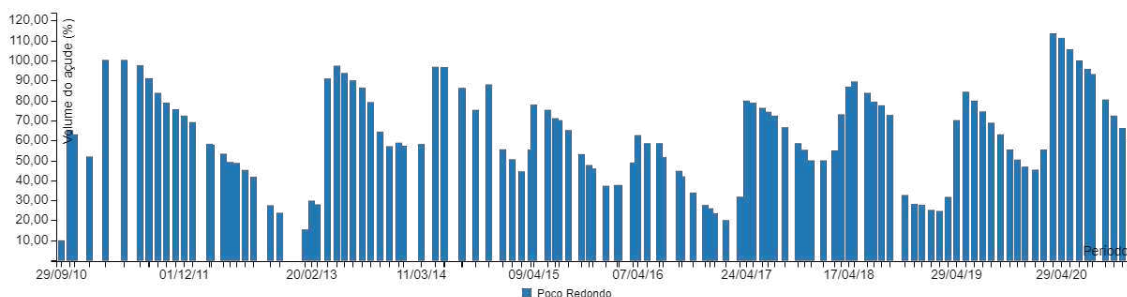
A população relatou que em algumas localidades atendidas pela prestadora há abastecimento intermitente devido às deficiências na adutora e no reservatório, sendo a tubulação da infraestrutura antiga e o reservatório possui baixa capacidade de reservação,

não suportando o crescimento da cidade nas últimas décadas. Além disso, a água não chega em todos locais em detrimento da topografia, até mesmo em pontos que já possuem a ligação e rede, porém não são abastecidos devido a pequena pressão da água. Ainda, nas localidades, onde o abastecimento não é realizado pela prestadora, há irregularidade no serviço e o tratamento ocorre apenas com a utilização de cloro (PMSB-PB, 2022).

SANTANA DE MANGUEIRA

Santana de Mangueira possuía 98% dos domicílios urbanos com acesso ao abastecimento de água por meio de rede geral e 2% por outra forma de abastecimento de água em 2010. O serviço é prestado pela CAGEPA atendendo majoritariamente a população urbana através do Sistema Isolado de Santana de Mangueira que capta água em um poço no leito do rio Santana, perenizado pelo açude Poço Redondo (PMSB-PB, 2022). Esse manancial apresenta picos de acréscimo e decréscimo do seu volume no intervalo analisado e desde 2020 apresenta índices de normalidade (Figura 21).

Figura 21 - Volume do Açude Poço Redondo



Fonte: AESA (2023).

Os moradores relataram que a rede de distribuição atende totalmente a sede e as interrupções no abastecimento ocorrem de maneira esporádica, devido a problemas operacionais. Quanto as localidades onde o abastecimento não é realizado pela prestadora, há irregularidade no serviço e o tratamento é realizado apenas com a utilização de cloro (PMSB-PB, 2022).

SÃO BENTO

Em São Bento, 98% dos domicílios urbanos eram abastecidos pela rede geral e 2% possuíam outra forma de abastecimento de água em 2010. O serviço de abastecimento de água é prestado pela CAGEPA através do Sistema Integrado São Bento, porém, não atende a totalidade da zona urbana. O Sistema de Abastecimento de Água do município

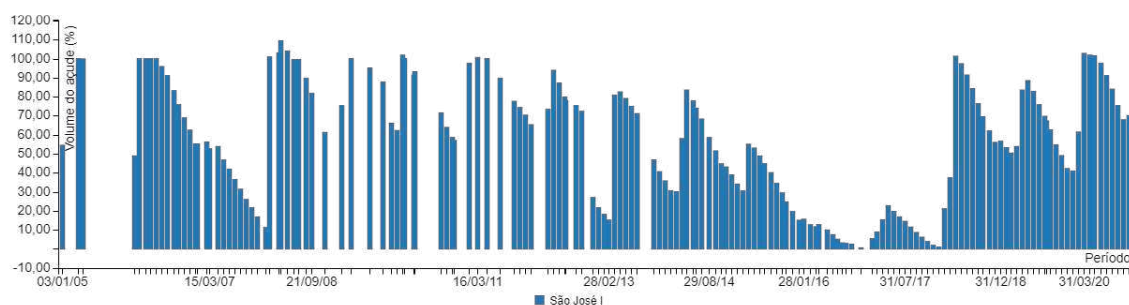
é o Sistema Integrado São Bento que capta água no Rio Piranhas, sendo esse responsável pelo abastecimento de diversos municípios nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. Carros-pipa são utilizados para o abastecimento de água nos bairros parcialmente ou não atendidos pela prestadora, sendo operados pela Prefeitura municipal (PMSB-PB, 2022).

Alguns bairros utilizam águas subterrâneas como meio de abastecimento, porém, a estrutura é rustica e só atende as residências mais próximas. Outras localidades utilizam poços, mas não há existência de rede de distribuição, o que a classifica como Solução Alternativa Coletiva. Essas formas de atendimento possuem irregularidade no serviço e o tratamento acontece de forma parcial, geralmente utilizando-se de cloro. A intermitência no serviço, de maneira geral, pode acontecer em decorrência da escassez do recurso hídrico, do nível de desperdício no consumo, do nível de perdas provocadas pelo prestador de serviços. Na área central de São Bento, o abastecimento é contínuo, mas nos demais bairros o atendimento varia de acordo com o período do ano considerando os níveis do rio e a mudança na vazão ocasionada pelo maior consumo (PMSB-PB, 2022).

SÃO JOSÉ DE PIRANHAS

São José de Piranhas possuía 99% dos domicílios urbanos abastecidos por meio da rede geral e 1% utilizavam outra forma de abastecimento de água em 2010. O serviço é prestado pela CAGEPA que abastece majoritariamente a população urbana através do Sistema Isolado de São José de Piranhas utilizando o manancial da Barragem São José I (PMSB-PB, 2022). Esse reservatório atingiu níveis críticos em 2016 e 2017, mas nos anos posteriores voltou ao estado de normalidade (Figura 22).

Figura 22 - Volume do açude São José I



Fonte: AESA (2023).

Na sede, os moradores reclamam da falta de capacidade da rede em atender a população e que a água não chega a todos os locais devido à pressão que não consegue

vencer a topografia do terreno em bairros mais altos. Ademais, em épocas chuvosas, a água apresenta cor e odor.

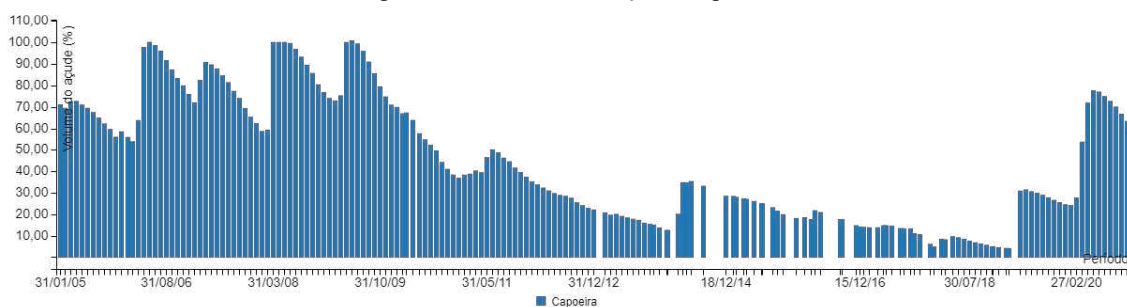
Algumas localidades utilizam os Sistemas de Abastecimento de Água sob responsabilidade da Prefeitura Municipal. Entretanto, foi relatado pela população que há irregularidade no serviço e o tratamento é parcial. Nas regiões da zona urbana da cidade que não são abastecidas por esse sistema, é utilizado o abastecimento através de captações em açude ou poços e carros-pipa (PMSB-PB, 2022).

SÃO JOSÉ DO BONFIM

O município de São José do Bonfim possuía 97% dos domicílios urbanos abastecidos por meio da rede geral, 1% por poço ou nascente na propriedade e 2% utilizavam outra forma de abastecimento de água em 2010. O serviço de abastecimento de água é prestado pela CAGEPA que abastece majoritariamente a população da área urbana através do Sistema Isolado de São José do Bonfim que capta água no Açude Capoeira que também abastece o município de Santa Terezinha e o Sistema Integrado Coremas-Sabugi que atende a 11 cidades (PMSB-PB, 2022).

Na maioria dos anos analisados (2005-2020), o manancial apresentou volumes acima de 50% de sua capacidade máxima, com exceção de 2013 a 2018 que apresentaram volumes mais baixos (Figura 23).

Figura 23 - Volume do Açude Capoeira



Fonte: AESA (2023).

Os moradores relataram que não há problemas com relação a distribuição de água do sistema, a rede atende 100% da sede e as interrupções no abastecimento ocorrem de maneira esporádica, porém, em algumas localidades, a água chega turva no período chuvoso. Já com relação aos distritos, a maior parte das residências não possuem rede e são abastecidas por meio de carros-pipa, havendo irregularidade no serviço e tratamento parcial (PMSB-PB, 2022).

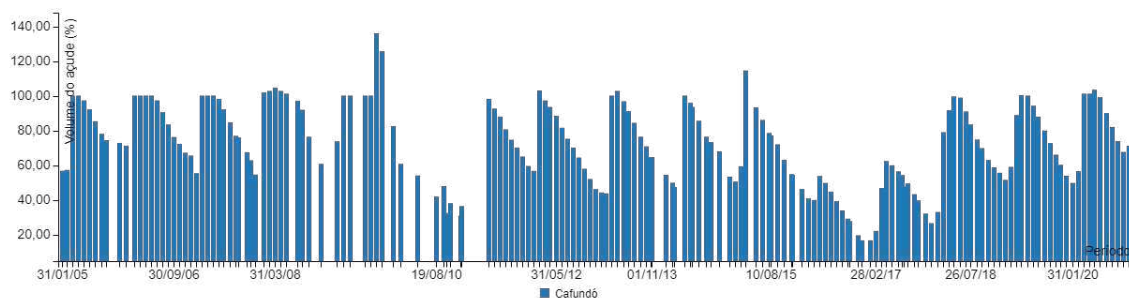
SÃO JOSÉ DOS RAMOS

São José dos Ramos possuía 72% dos domicílios urbanos abastecidos por meio da rede geral, 5% através de água da chuva armazenada em cisterna, 1% por poço ou nascente na propriedade e 22% utilizavam outra forma de abastecimento de água em 2010. O serviço de abastecimento de água na área urbana é prestado pela CAGEPA, entretanto, não atende a totalidade da zona urbana. O sistema utilizado é o Integrado Itabaiana que capta água do Rio Paraíba. O atendimento acontece de forma intermitente quando o sistema está em racionamento. Nas regiões da cidade que não são abastecidas por esse sistema, é utilizado o abastecimento através de carro-pipa operados pela Prefeitura municipal. De acordo com os moradores, há irregularidade no serviço, além disso, o tratamento é parcial, geralmente realizado apenas com a utilização de cloro (PMSB-PB, 2022).

SERRA GRANDE

Em Serra Grande, 95% dos domicílios urbanos eram abastecidos por meio da rede geral e 5% utilizavam outra forma de abastecimento de água em 2010. O serviço de abastecimento de água é prestado pela CAGEPA que atende majoritariamente a população urbana através do Sistema Isolado de Serra Grande captando água do Açude Cafundó (PMSB-PB, 2022). Esse manancial apresenta picos de volumes no decorrer dos anos analisados (2005-2020), sendo o nível mais crítico atingido em 2017, período esse que o semiárido passava por crise hídrica (Figura 24).

Figura 24 - Volume do Açude Cafundó



Fonte: AESA (2023).

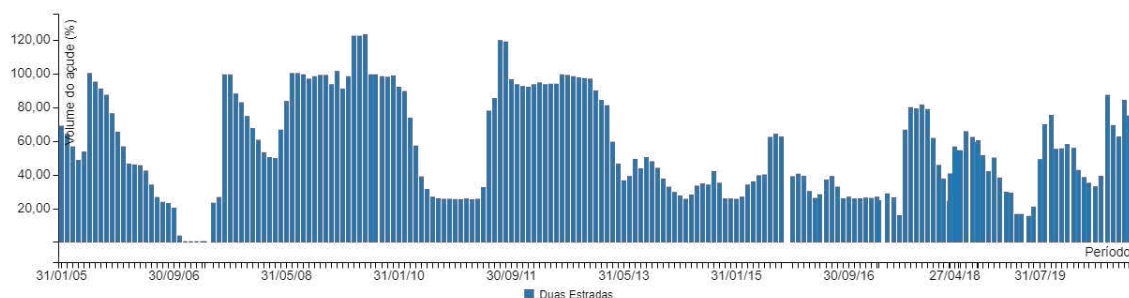
Os moradores relataram que abastecimento por parte da prestadora de serviço acontece de forma intermitente, apenas três dias por semana durante todo o ano. Na sede, há baixa capacidade do reservatório de distribuição e pequeno diâmetro da antiga tubulação da adutora, havendo extravasamento da água por esses motivos. Além disso, é

necessário um reservatório mais alto, para possibilitar que a água alcance os pontos mais altos da sede com maior facilidade. Nas localidades, onde o abastecimento não é realizado pela prestadora, utiliza-se carros-pipa, porém há irregularidade no serviço e o tratamento é parcial (PMSB-PB, 2022).

SERTÃOZINHO

Sertãozinho possuía 77% dos domicílios urbanos abastecidos por meio da rede geral, 2% por água de chuva armazenada em cisterna e 21% utilizavam outra forma de abastecimento de água em 2010. O serviço de abastecimento de água é prestado pela CAGEPA que atende majoritariamente a população urbana através do Sistema Integrado Duas Estradas-Lagoa de Dentro. A água é captada nos Açudes Duas Estradas, Paredão (Suspiro) e Canafistula I (Pirpirituba) (PMSB-PB, 2022). O manancial de Duas Estradas apresentou níveis críticos apenas no ano de 2006, nos demais anos, o volume era superior a 20% de sua capacidade máxima (Figura 25).

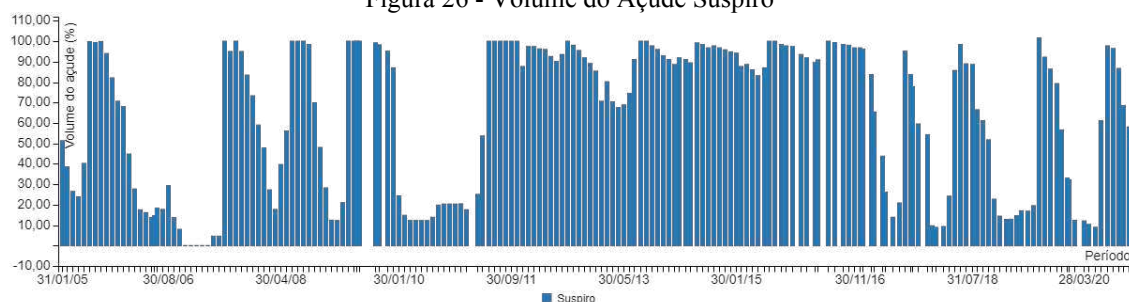
Figura 25 - Volume do Açude de Duas Estradas



Fonte: AESA (2023).

O açude Suspiro apresentou diversos meses em que o volume era de aproximadamente 10% de sua capacidade máxima, mas logo em seguida o manancial voltava aos níveis normais, com exceção de dois períodos, 2006 e 2010, em que o volume permaneceu baixo por alguns meses (Figura 26).

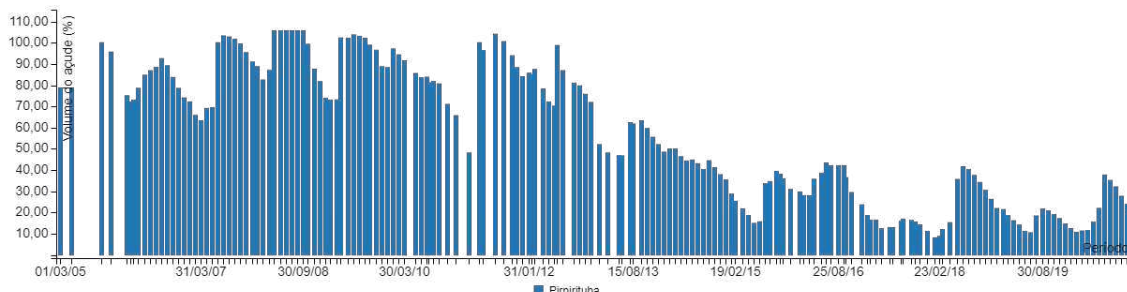
Figura 26 - Volume do Açude Suspiro



Fonte: AESA (2023).

O açude Pirpirituba apresentou altos volumes durante praticamente metade dos anos analisados. Entre 2015 e 2020, o manancial começou a apresentar volumes mais baixos entre 15% e 20% em alguns meses, porém, não chegou a colapsar (Figura 27).

Figura 27 - Volume do Açude Pirpirituba



Fonte: AESA (2023).

Os moradores relataram que o abastecimento por parte da prestadora acontece de forma intermitente e em algumas localidades não é atendida pela rede, além disso, a água é turva no período chuvoso. Nos pontos mais altos da cidade não há pressão suficiente para manter o abastecimento mesmo quando o reservatório está cheio. Ainda, a população aponta que a rede de abastecimento não atende mais com eficiência, mesmo quando o sistema está em funcionamento, devido ao crescimento da população e do número de residências (PMSB-PB, 2022).

Algumas localidades da cidade utilizam como complemento ao abastecimento as águas subterrâneas através de uma estrutura rústica, sendo utilizada para o abastecimento das residências próximas. As localidades são abastecidas por poços, mas não há a existência de rede de distribuição, sendo estas classificadas como Solução Alternativa Coletiva. A Prefeitura é responsável pela manutenção e operação do sistema. Outras regiões são atendidas por carro-pipa operados também pela Prefeitura municipal, porém, há irregularidade no serviço e o tratamento é parcial (PMSB-PB, 2022).

SOLÂNEA

No município de Solânea, 93% dos domicílios urbanos eram abastecidos por meio da rede geral, 2% por poço ou nascente na propriedade, 4% utilizavam outra forma de abastecimento de água e 1% não foi informado. O serviço de abastecimento de água é prestado pela CAGEPA que atende majoritariamente a população urbana através do Sistema Integrado Cacimba de Várzea - Canafistula II captando água do manancial homônimo (PMSB-PB, 2022). Esse reservatório apresenta volumes baixos de água desde 2013, entrando em colapso no ano de 2021 (Figura 11).

Nas regiões da cidade que não são abastecidas por esse sistema, é utilizado o abastecimento através de carro-pipa operados pela Prefeitura. Algumas localidades complementam o abastecimento usando como manancial as águas subterrâneas através de uma estrutura rústica, sendo utilizada para o abastecimento das residências próximas. As localidades são abastecidas por poços, mas não há a existência de rede de distribuição, sendo estas classificadas como Solução Alternativa Coletiva, sendo também sob responsabilidade da Prefeitura (PMSB-PB, 2022).

Em suma, o Quadro 1 explana a síntese das principais características e peculiaridades do abastecimento de água dos 29 municípios.

Quadro 1 - Quadro resumo das características e peculiaridades do abastecimento de água dos municípios

Município	Abast. de água em 2010	Outras fontes de abast. em 2010	Intermitência do serviço	Colapso (2005-2020)	Peculiaridades
Água Branca	96%	Carro-pipa	Sim	Não	Rede de infraestrutura antiga; Rodízio de abastecimento
Aguiar	98%	Carro-pipa; poço	Sim	Não	Subdimensionamento; Pouca pressão; Racionamento sazonal (2017 e 2018)
Alhandra	94%	Carro-pipa; poço	Sim	Não	Crescimento populacional
Areia	93%	Carro-pipa; poço	Sim	Não	Subdimensionamento; Crescimento populacional; Falta do recurso
Bananeiras	87%	Carro-pipa; poço	Sim	Não	Abastecimento por meio de chafarizes e caixas coletivas; Qualidade da água incerta
Boa Vista	99%	Carro-pipa	Sim	Sim	Baixa vazão e subdimensionamento da rede; Pouca pressão
Bom Sucesso	94%	Carro-pipa; poço	Sim	Sim	Falta do recurso; Crescimento urbano (não atende aos novos bairros)
Brejo dos Santos	99%	Carro-pipa	Sim	Sim	Utilização de cisternas e compra de água de poços; Subdimensionamento da rede; Crescimento populacional; Pouca pressão; Tubulação antiga
Cabaceiras	100%	Carro-pipa	Sim	Sim	Pouca pressão; Bairros novos não atendidos pela rede (contradição aos dados oficiais)

Quadro 1 - Quadro resumo das características e peculiaridades do abastecimento de água dos municípios (cont.)

Município	Abast. de água em 2010	Outras fontes de abast. em 2010	Intermitência do serviço	Colapso (2005-2020)	Peculiaridades
Caiçara	97%	Carro-pipa	Sim	Não	Abastecimento por cisternas; Abastecimento por águas subterrâneas (distribuição por chafarizes); Pouca pressão
Cajazeirinhas	97%	Carro-pipa	Sim	Não	Pouca pressão; Crescimento urbano e populacional
Casserengue	94%	Carro-pipa; cisternas (água da chuva)	Sim	Não	Pouca pressão; Capacidade do reservatório de distribuição insuficiente; Crescimento urbano e populacional
Cruz do Espírito Santo	94%	Carro-pipa; poço	Sim	Não	Subdimensionamento da rede; Baixa capacidade de armazenamento do sistema
Ibiara	99%	Carro-pipa	Sim	Não	Subdimensionamento da rede; Pouca pressão; Extravasamento na rede e encanações obstruídas; Crescimento urbano
Igaracy	97%	Carro-pipa	Sim	Não	Sistema de distribuição antiga; Crescimento populacional; Qualidade da água imprópria
Manaíra	97%	Carro-pipa	Sim	Não	Qualidade da água varia
Marizópolis	98%	Carro-pipa	Sim	Não	Crescimento populacional; Pouca pressão
Natuba	91%	Carro-pipa; cisternas (água da chuva)	Não	Não	Interrupções no abastecimento devido a problemas com energia ou realização de manutenção no sistema
Nova Olinda	99%	Carro-pipa	Sim	Não	Interrupções no abastecimento ocorrem de maneira esporádica devido a problemas operacionais; Crescimento populacional; Pouca pressão
Olho D'Água	98%	Carro-pipa	Sim	Não	Em um bairro há rede, mas não há documentação para o abastecimento

Quadro 1 - Quadro resumo das características e peculiaridades do abastecimento de água dos municípios (cont.)

Município	Abast. de água em 2010	Outras fontes de abast. em 2010	Intermitência do serviço	Colapso (2005-2020)	Peculiaridades
Pedra Lavrada	99%	Carro-pipa	Sim	Sim	Tubulação antiga; Reservatório possui baixa capacidade de reservação; Crescimento populacional; Pouca pressão; Há infraestrutura, mas a água não chega
São Bento	98%	Carro-pipa	Sim	Não	Abastecimento por águas subterrâneas (complemento); Intermitência decorrente da escassez hídrica e varia de acordo com o período do ano
São José de Piranhas	99%	Carro-pipa	Sim	Não	Capacidade da rede insuficiente; Pouca pressão
São José do Bonfim	97%	Carro-pipa; poço	Não	Não	Interrupções no abastecimento ocorrem de maneira esporádica; Água chega turva no período chuvoso
São José dos Ramos	72%	Carro-pipa; poço; cisternas (água da chuva)	Sim	Não	O atendimento acontece de forma intermitente quando o sistema está em racionamento
Serra Grande	95%	Carro-pipa	Sim	Não	Baixa capacidade do reservatório de distribuição; Pequeno diâmetro da antiga tubulação da adutora; Extravasamento da água
Sertãozinho	77%	Carro-pipa; cisternas (água da chuva)	Sim	Não	Pouca pressão; Crescimento urbano e populacional; Abastecimento por águas subterrâneas (complemento)
Solânea	93%	Carro-pipa; poço	Sim	Não	Abastecimento por águas subterrâneas (complemento)

Fonte: Baseado no PMSB-PB (2023).

3.3.2 Características de desenvolvimento urbano

As variáveis socioeconômicas (educação, Índice de Desenvolvimento Humano Municipal e Produto Interno Bruto) selecionadas para serem analisadas nesta pesquisa estão disponíveis na Tabela 2. Esses parâmetros foram selecionados de acordo com a literatura existente a respeito da temática, em que é constatado que estas, impulsionam o desenvolvimento e expansão das cidades. De acordo com Li *et al.* (2013), os fatores físicos, socioeconômicos e de vizinhança afetam a expansão urbana. Cao *et al.* (2020) afirma que em muitos países desenvolvidos, as taxas de urbanização e o PIB cresceram juntos e que esse tipo de urbanização é chamado de “urbanização paralela”. Ainda, nesse quesito, a urbanização promove o crescimento econômico por meio do acúmulo de capital físico, capital do conhecimento e capital humano (LIANG; YANG, 2019) e vice-versa.

O fator educação foi analisado no período entre 2013 e 2019, sendo utilizado o número de matriculados em rede escolar de cada município como parâmetro. São levados em consideração os quatro níveis disponíveis: Educação infantil, ensino fundamental e médio e o EJA presencial. Para o fator de desenvolvimento social, considerou-se o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M), para tanto, utilizou-se da posição no ranking dos municípios paraibanos a título de comparação de evolução entre os anos de 1991 e 2010 e a classificação dos grupos quanto ao valor do IDH (Muito baixo, baixo, médio, alto e muito alto). Finalmente, no quesito economia, o PIB foi utilizado como fator referência, sendo apresentado a sua variação entre os anos de 2010 e 2018 e a composição das áreas que mais influenciaram esse dinamismo.

Tabela 2 - Variáveis socioeconômicas dos municípios

Município	Educação (2013-2019)	IDH-M (1991-2010)	PIB (2010-2018)
Água Branca	- 6,36%	Saiu de muito baixo para baixo Desceu da 136ª para 141ª posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+96% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
Aguiar	-33,89%	Saiu de muito baixo para baixo Subiu da 127ª para 74ª posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+77,6% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
Alhandra	-8,62%	Saiu de muito baixo para baixo Subiu da 119ª para 114ª posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+419,1% Composição por maior influência: Serviços; Industrial; Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Agropecuário
Areia	-29,79%	Saiu de muito baixo para baixo Desceu da 37ª para 83ª posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+88,1% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
Bananeiras	-20,48%	Saiu de muito baixo para baixo Desceu de 107ª para 153ª posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+98,5% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
Boa Vista	-17,49%	Saiu de muito baixo para médio Subiu da 18ª para 10ª posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+47% Composição por maior influência: Indústria; Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário
Bom Sucesso	-43,42%	Saiu de muito baixo para baixo Desceu da 29ª para 89ª posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+82,4% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
Brejo dos Santos	-26,24%	Saiu de muito baixo para médio Subiu de 79ª para 36ª posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+85% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
Cabaceiras	-8,18%	Saiu de muito baixo para médio Desceu 20ª para 47ª posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+124,9% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Agropecuário; Serviços; Industrial
Caiçara	-18,5%	Saiu de muito baixo para baixo Subiu de 140ª para 89ª posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+66,8% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial

Tabela 2 - Variáveis socioeconômicas dos municípios (cont.)

Município	Educação (2013-2019)	IDH-M (1991-2010)	PIB (2010-2018)
Cajazeirinhas	-19,67%	Saiu de muito baixo para baixo Subiu de 220 ^a para 193 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+88% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
Casserengue	-8%	Saiu de muito baixo para baixo Permaneceu na 222 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+81,6% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
Cruz do Espírito Santo	-9,77%	Saiu de muito baixo para baixo Desceu de 92 ^a para 190 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+61,5% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
Ibiara	-5,16%	Saiu de muito baixo para baixo Subiu de 114 ^a para 104 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+85,4% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
Igaracy	-27,6%	Saiu de muito baixo para médio Subiu de 133 ^a para 48 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+96,1% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
Manaíra	+1,46%	Saiu de muito baixo para baixo Desceu de 164 ^a para 204 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+87,2% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
Marizópolis	-32,87%	Saiu de muito baixo para médio Subiu de 111 ^a para 52 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+130,9% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Industrial; Agropecuário
Natuba	-20%	Saiu de muito baixo para baixo Desceu de 136 ^a para 207 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+93,7% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
Nova Olinda	-8,39%	Saiu de muito baixo para baixo Subiu de 185 ^a para 138 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+82,8% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
Olho D'Água	-17,58%	Saiu de muito baixo para baixo Subiu de 162 ^a para 141 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+77,7% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial

Tabela 2 - Variáveis socioeconômicas dos municípios (cont.)

Município	Educação (2013-2019)	IDH-M (1991-2010)	PIB (2010-2018)
Pedra Lavrada	-22,82%	Saiu de muito baixo para baixo Subiu de 140 ^a para 133 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+66,9% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Industrial; Agropecuário
Santana de Mangueira	-31,47%	Saiu de muito baixo para baixo Desceu de 210 ^a para 211 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+74,2% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
São Bento	+45,08%	Saiu de muito baixo para baixo Desceu de 88 ^a para 121 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+113,8% Composição por maior influência: Serviços; Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Industrial; Agropecuário
São José de Piranhas	-10,4%	Saiu de muito baixo para baixo Subiu de 101 ^a para 95 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+74,9% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Agropecuário; Industrial
São José do Bonfim	-9,81%	Saiu de muito baixo para baixo Subiu de 147 ^a para 126 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+107,4% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Industrial; Agropecuário
São José dos Ramos	-14,39%	Saiu de muito baixo para baixo Subiu de 209 ^a para 207 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+128% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Industrial; Agropecuário
Serra Grande	-5,13%	Saiu de muito baixo para baixo Subiu de 147 ^a para 104 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+18,9% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Industrial; Agropecuário
Sertãozinho	-5,58%	Saiu de muito baixo para médio Subiu de 61 ^a para 33 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+96,3% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Industrial; Agropecuário
Solânea	-9,79%	Saiu de muito baixo para baixo Desceu 45 ^a para 78 ^a posição Composição por maior influência: longevidade, renda e educação	+111,1% Composição por maior influência: Administração, Defesa, Educação e Saúde Públicas e Seguridade Social; Serviços; Industrial; Agropecuário

Fonte: Elaborado a partir de PMSB-PB (2023).

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DE TENDÊNCIAS

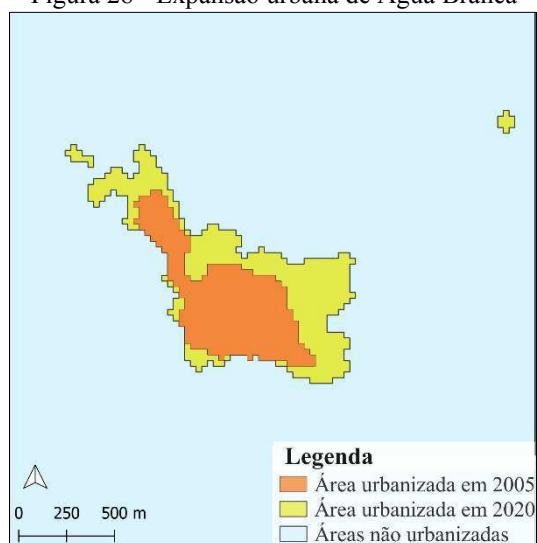
4.1.1 Expansão urbana

A possibilidade de observação das mudanças do uso e cobertura da terra no Brasil por sensoriamento remoto, através dos produtos previamente classificados do Projeto MapBiomas, ampliam a capacidade de observação da dinâmica de crescimento de zonas urbanas, inclusive dos pequenos municípios. Percebe-se no caso dos 29 municípios da Paraíba analisados, que o espraiamento da mancha urbana se dá de maneiras diferentes, nem sempre de forma contígua, algumas vezes com conurbações de pequenas localidades próximas e, em alguns casos há um significativo espalhamento do núcleo urbano original. As análises espaciais de crescimento urbano entre 2005 e 2020 de cada município são apresentadas abaixo.

ÁGUA BRANCA

O crescimento urbano do município aconteceu, principalmente, nos sentidos norte, nordeste e sudeste, ocorrendo ao redor do centro existente em 2005, além do surgimento de novas aglomerações (Figura 28).

Figura 28 - Expansão urbana de Água Branca

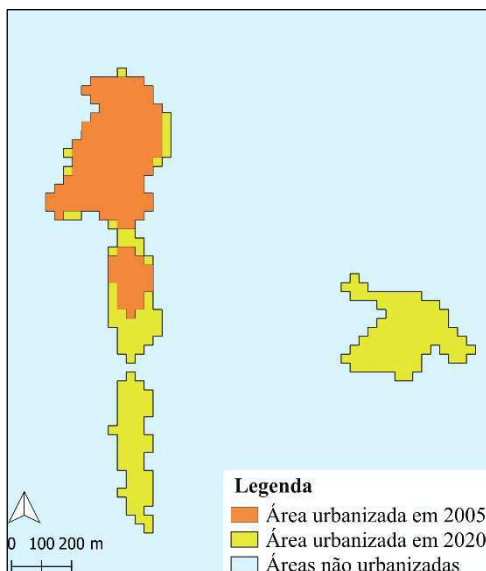


Fonte: Autoria própria (2023).

AGUIAR

O município dobrou de tamanho quanto ao território urbano, crescendo principalmente nos sentidos leste, oeste e sul nas últimas décadas (Figura 29).

Figura 29 - Expansão urbana de Aguiar

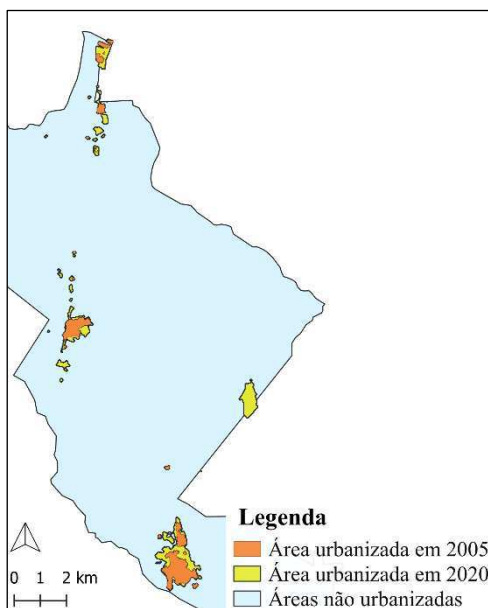


Fonte: Autoria própria (2023).

ALHANDRA

O município tem passado por um crescimento urbano principalmente nos sentidos norte, nordeste e noroeste nas últimas décadas, ocorrendo um espraiamento do perímetro urbano, assim como a implantação de diversos novos centros urbanos (Figura 30).

Figura 30 - Expansão urbana de Alhandra

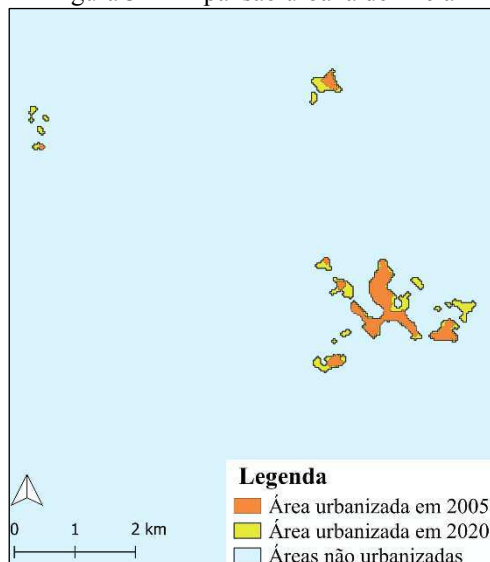


Fonte: Autoria própria (2023).

AREIA

A área urbana do município cresceu principalmente nos sentidos norte, sul e leste nos últimos anos. Esse dinamismo intensificou o espraiamento do perímetro urbano, além da criação de novos centros (Figura 31).

Figura 31 - Expansão urbana de Areia

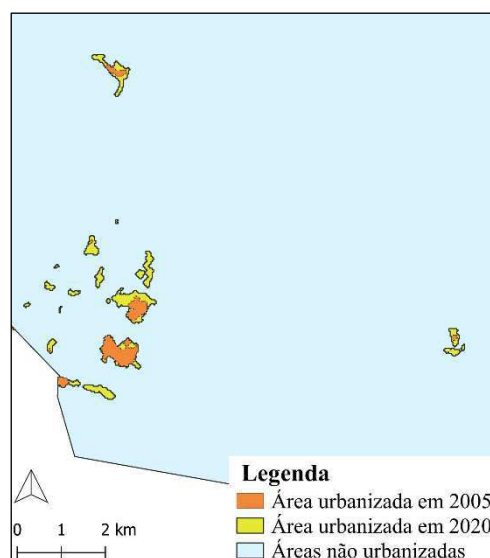


Fonte: Autoria própria (2023).

BANANEIRAS

O município expandiu seu perímetro urbano principalmente ao redor dos aglomerados urbanos existentes em 2005 e surgiram várias outras aglomerações entre 2005 e 2020, o que fez com que dobrasse a extensão física de suas áreas com infraestrutura urbana (Figura 32).

Figura 32 - Expansão urbana de Bananeiras

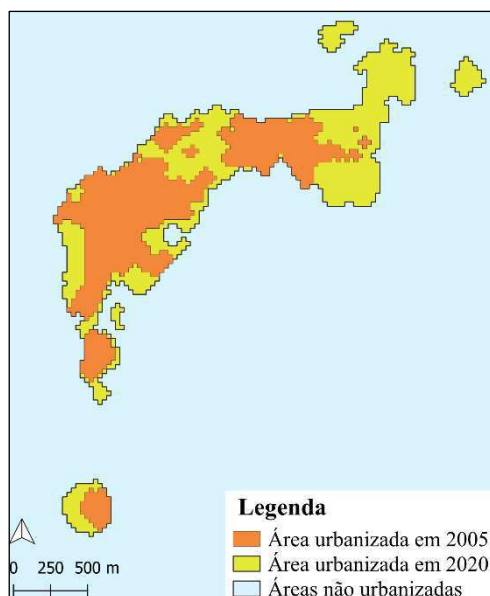


Fonte: Autoria própria (2023).

BOA VISTA

A expansão urbana praticamente duplicou em 15 anos, aumentando principalmente nos sentidos sudoeste e leste ao redor dos núcleos existentes. Além disso, a junção de alguns centros formando um único também aconteceu (Figura 33).

Figura 33 - Expansão urbana de Boa Vista

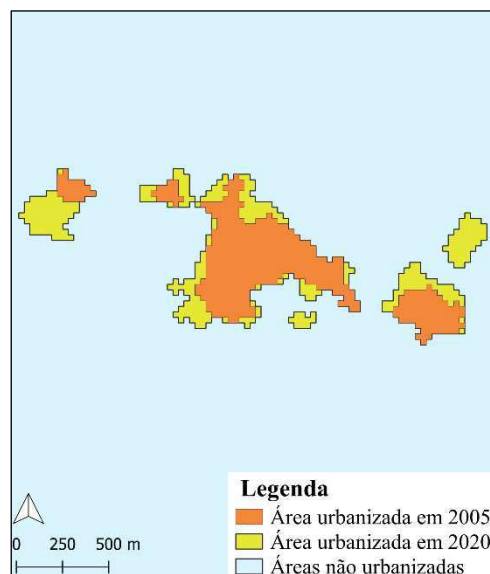


Fonte: Autoria própria (2023).

BOM SUCESSO

O município expandiu suas fronteiras principalmente ao redor dos aglomerados urbanos em 2005, além do surgimento de novos centros urbanos (Figura 34).

Figura 34 - Expansão urbana de Bom Sucesso

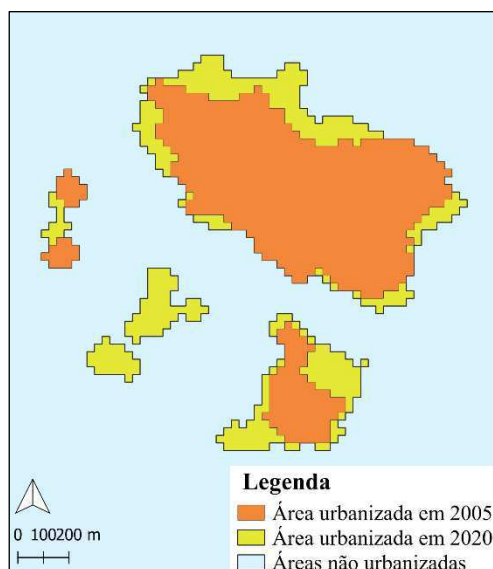


Fonte: Autoria própria (2023).

BREJO DOS SANTOS

O crescimento ocorreu majoritariamente ao redor dos aglomerados urbanos já existentes em 2005 e a houve o surgimento de novos centros (Figura 35).

Figura 35 - Expansão urbana de Brejo dos Santos

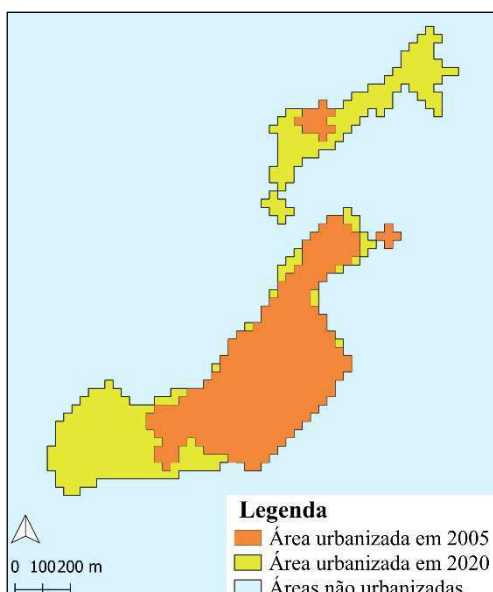


Fonte: Autoria própria (2023).

CABACEIRAS

A expansão urbana aconteceu principalmente nos sentidos nordeste e sudoeste do município ao redor dos centros urbanos existentes em 2005 (Figura 36).

Figura 36 - Expansão urbana de Cabaceiras

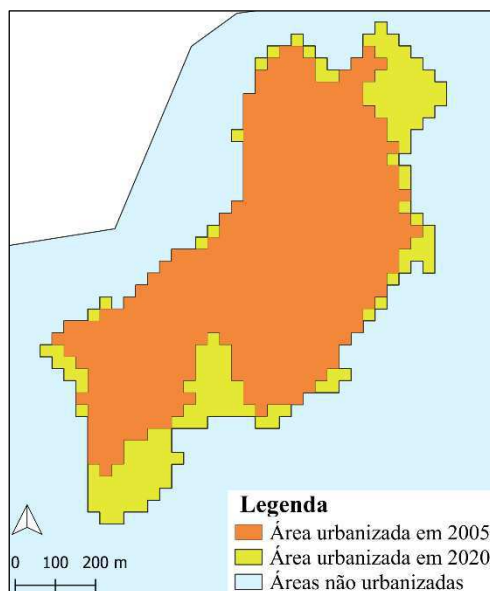


Fonte: Autoria própria (2023).

CAIÇARA

A área urbana cresceu pouco nos 15 anos estudados (2005 e 2020), a expansão se deu principalmente em torno do eixo nordeste-sudoeste, com um espraiamento inicial em torno do núcleo urbano (Figura 37).

Figura 37 - Expansão urbana de Caiçara

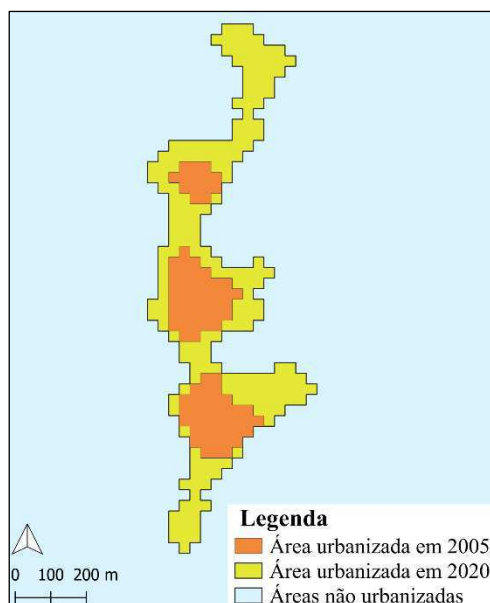


Fonte: Autoria própria (2023).

CAJAZEIRINHAS

O município teve um crescimento urbano expressivo nos 15 anos estudados, triplicando o perímetro urbano e transformando os três núcleos em um único (Figura 38).

Figura 38 - Expansão urbana de Cajazeirinhas

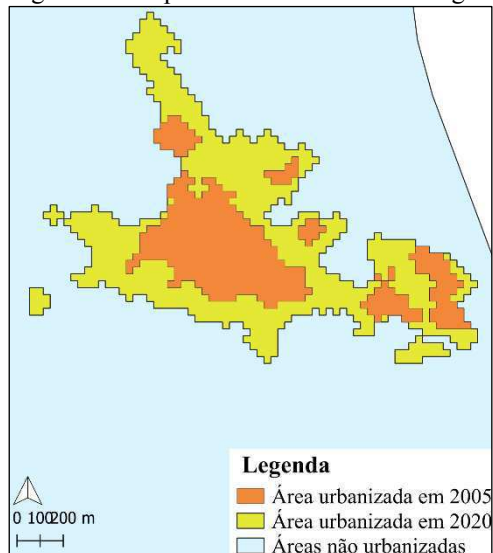


Fonte: Autoria própria (2023).

CASSERENGUE

O município cresceu seu perímetro urbano principalmente nos arredores do aglomerado urbano existente em 2005, fazendo a junção dos vários centros urbanos em, praticamente, uma única mancha urbana (Figura 39).

Figura 39 - Expansão urbana de Casserengue

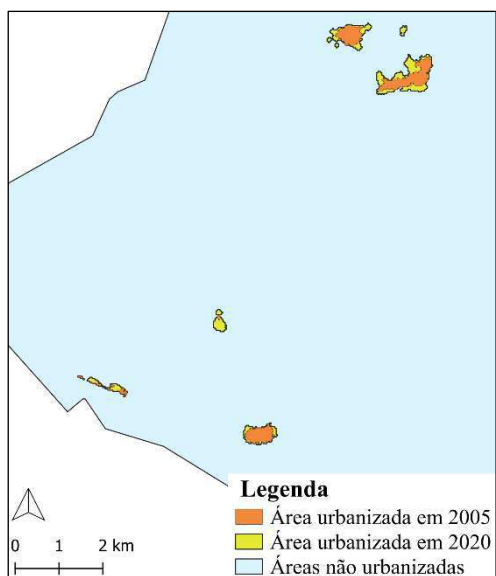


Fonte: Aatoria própria (2023).

CRUZ DO ESPÍRITO SANTO

A área urbana do município cresceu principalmente nos sentidos norte, leste, sul e sudeste nas últimas décadas ocorrendo o espraiamento da mancha urbana, além do surgimento de novos centros (Figura 40).

Figura 40 - Expansão urbana de Cruz do Espírito Santo

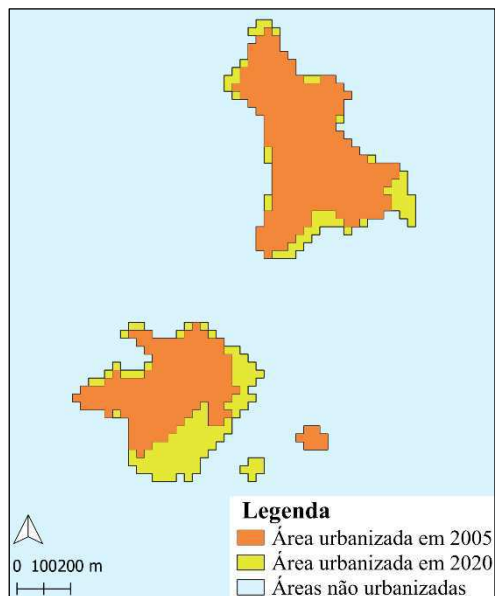


Fonte: Aatoria própria (2023).

IBIARA

O crescimento urbano do município tem sido mais frequente no sentido sul e principalmente nos arredores dos centros já desenvolvidos, além da implementação de um novo centro (Figura 41).

Figura 41 - Expansão urbana de Ibiara

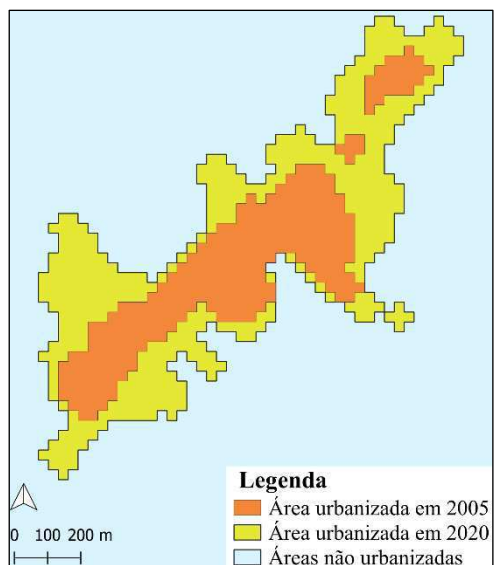


Fonte: Autoria própria (2023).

IGARACY

O crescimento urbano foi intenso entre 2005 e 2020, principalmente nos sentidos nordeste e sudoeste contemplando os arredores dos centros já existentes (Figura 42).

Figura 42 - Expansão urbana de Igaracy

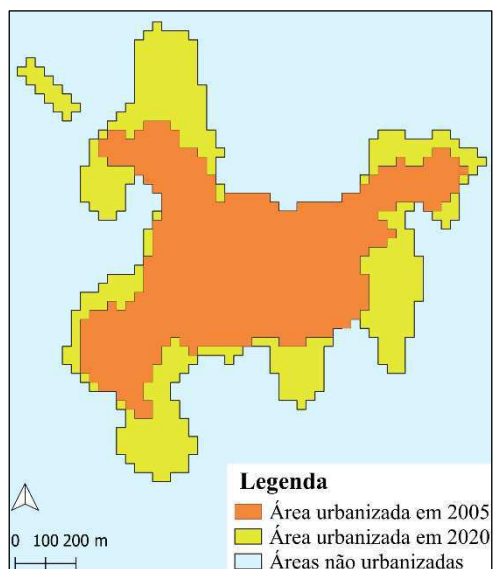


Fonte: Autoria própria (2023).

MANAÍRA

O crescimento urbano aumentou bastante nos sentidos norte, sudoeste e sudeste com ênfase no alargamento do centro urbano existente e o surgimento de um novo centro (Figura 43).

Figura 43 - Expansão urbana de Manaíra

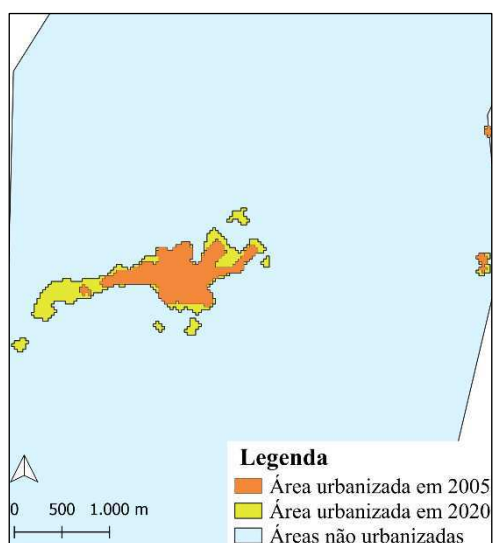


Fonte: Autoria própria (2023).

MARIZÓPOLIS

Quanto ao crescimento urbano, observa-se um alargamento ao redor do aglomerado urbano existente em 2005, além da implantação de novas estruturas no município (Figura 44).

Figura 44 - Expansão urbana de Marizópolis

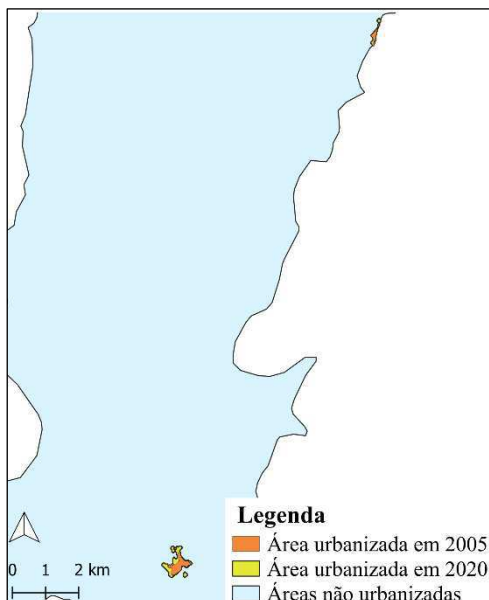


Fonte: Autoria própria (2023).

NATUBA

O município cresceu principalmente nos sentidos leste e sudoeste nas últimas décadas, aumentando os arredores dos aglomerados existentes, além do surgimento de novo centro urbano (Figura 45).

Figura 45 - Expansão urbana de Natuba

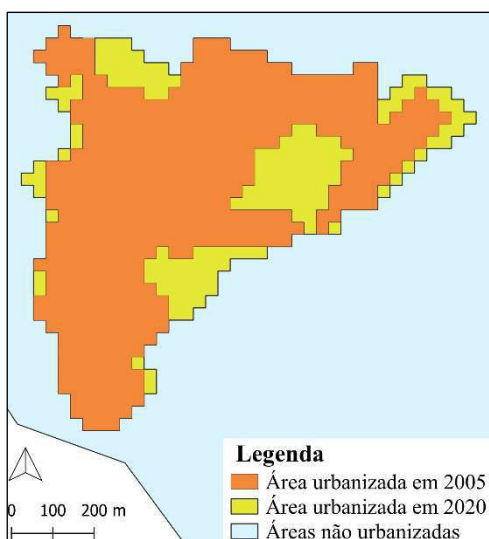


Fonte: Autoria própria (2023).

NOVA OLINDA

O crescimento urbano aconteceu de forma suave durante os 15 anos analisados, aumentando nos sentidos norte e nordeste do aglomerado urbano existente (Figura 46).

Figura 46 - Expansão urbana de Nova Olinda

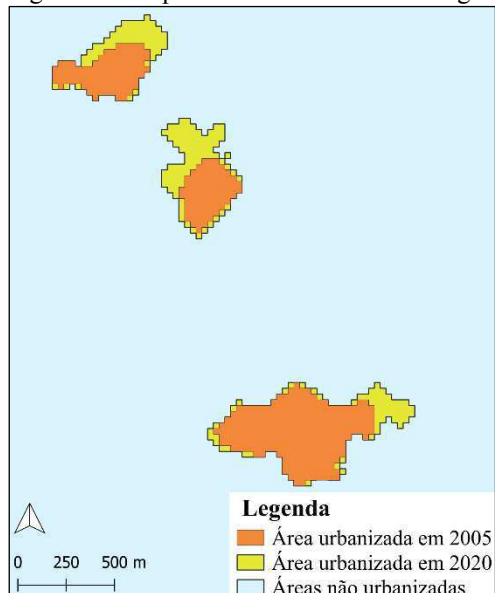


Fonte: Autoria própria (2023).

OLHO D'ÁGUA

O crescimento urbano se deu principalmente ao norte dos aglomerados presentes em 2005, decorrente a isso, pode-se ver um espreadimento do perímetro urbano (Figura 47).

Figura 47 - Expansão urbana de Olho D'Água

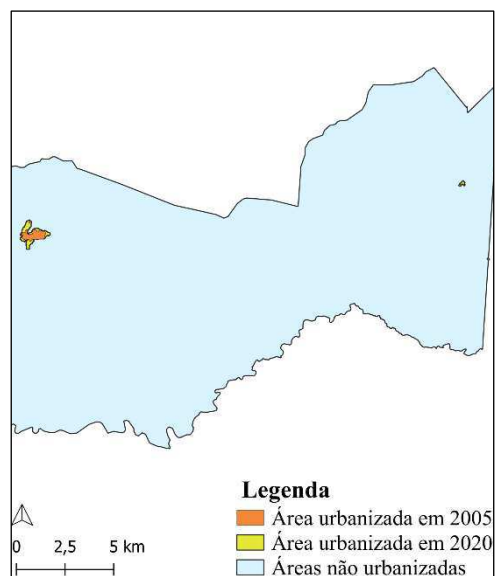


Fonte: Autoria própria (2023).

PEDRA LAVRADA

O município cresceu seu perímetro urbano principalmente nas direções norte, leste e sul (Figura 48).

Figura 48 - Expansão urbana de Pedra Lavrada

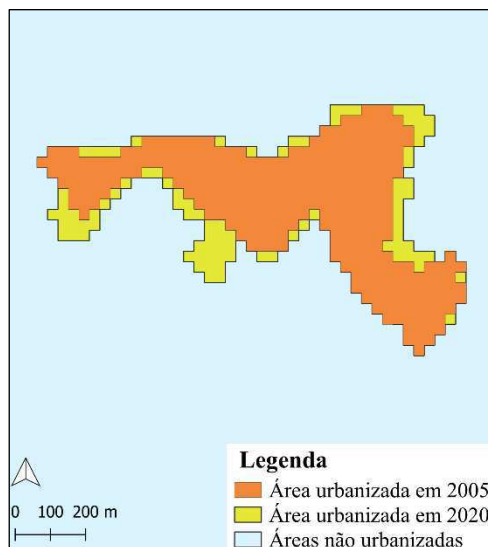


Fonte: Autoria própria (2023).

SANTANA DE MANGUEIRA

O município apresentou um pequeno espriamento da mancha urbana ao redor dos aglomerados urbanos em 2005 (Figura 49).

Figura 49 - Expansão urbana de Santana de Mangueira

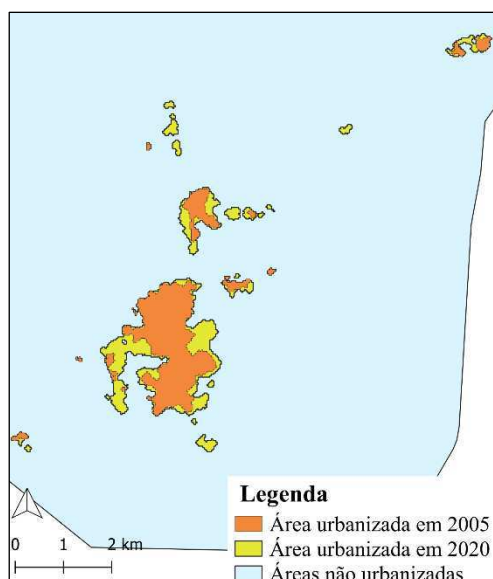


Fonte: Autoria própria (2023).

SÃO BENTO

O desenvolvimento do perímetro urbano do município se deu principalmente nos sentidos norte e sudeste, além da implementação de novas infraestruturas urbanas no decorrer dos anos analisados (Figura 50).

Figura 50 - Expansão urbana de São Bento



Fonte: Autoria própria (2023).

SÃO JOSÉ DE PIRANHAS

Destaca-se no crescimento urbano o alargamento do seu perímetro e o surgimento de novos centros (Figura 51).

Figura 51 - Expansão urbana de São José de Piranhas

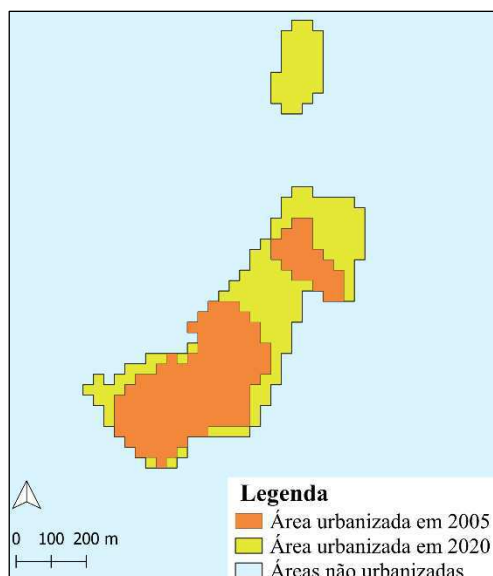


Fonte: Autoria própria (2023).

SÃO JOSÉ DO BONFIM

Quanto ao crescimento da cidade, o município dobrou de tamanho aumentando o perímetro urbano existente em 2005, além do surgimento de um novo centro urbano (Figura 52).

Figura 52 - Expansão urbana de São José do Bonfim

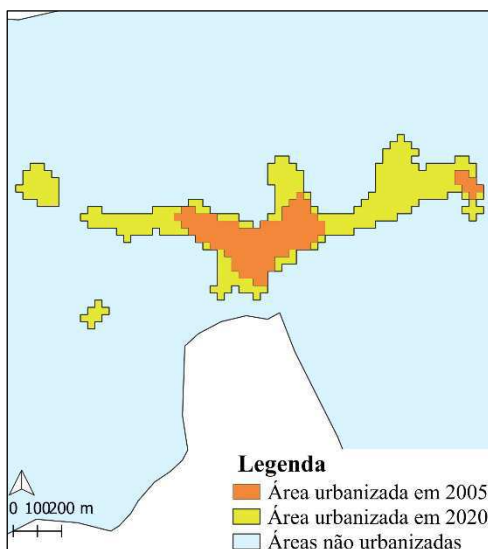


Fonte: Autoria própria (2023).

SÃO JOSÉ DOS RAMOS

O crescimento urbano de São José dos Ramos foi expressivo entre 2005 e 2020, desenvolvendo-se principalmente no sentido leste e implementando novos centros (Figura 53).

Figura 53 - Expansão urbana de São José dos Ramos

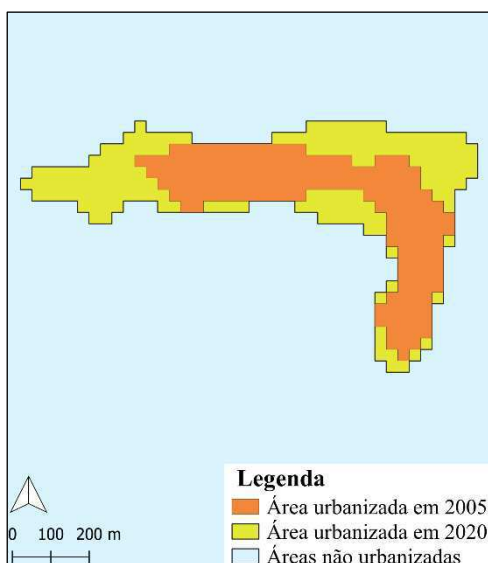


Fonte: Autoria própria (2023).

SERRA GRANDE

O crescimento urbano foi expressivo entre 2005 e 2020, ocorrendo o espraiamento da mancha urbana existente em 2005 (Figura 54).

Figura 54 - Expansão urbana de Serra Grande

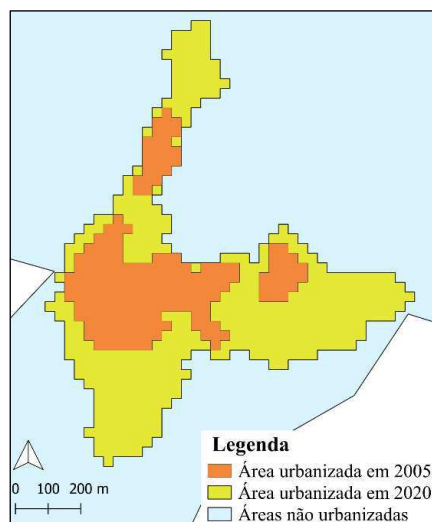


Fonte: Autoria própria (2023).

SERTÃOZINHO

O município quase triplicou de área urbana, crescendo principalmente nos sentidos norte e sul e ao redor dos centros existentes em 2005, fazendo com que houvesse a junção dos centros (Figura 55).

Figura 55 - Expansão urbana de Sertãozinho

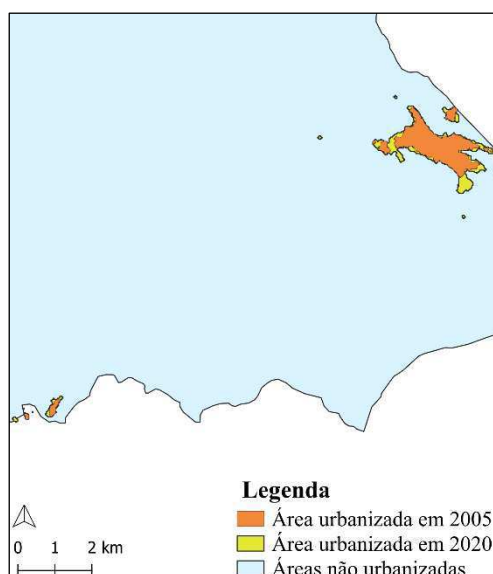


Fonte: Autoria própria (2023).

SOLÂNEA

O crescimento urbano do município foi mediano nos 15 anos analisados, desenvolvendo-se principalmente nos sentidos noroeste e sudoeste, além do surgimento de novos centros (Figura 56).

Figura 56 - Expansão urbana de Solânea



Fonte: Autoria própria (2023).

4.1.1.1 Forças motrizes

Há vários fatores que impulsionam o crescimento das cidades como os fatores populacionais, econômicos, físicos e de desenvolvimento social (CAO *et al.*, 2020; LIANG; YANK, 2019; LI *et al.*, 2013). Para este estudo consideram-se os já citados: Educação, IDH-M e PIB. De maneira geral, é possível perceber que a variável que mais influenciou o desenvolvimento territorial dos municípios foi o desenvolvimento econômico, neste estudo, observado pelo PIB.

O Produto Interno Bruto cresceu de forma expressiva em todas as cidades, destacando-se o município de *Alhandra*, que aumentou expressivos 419,1% entre 2010 e 2018. O que chama atenção nesse caso é que a maior influência na composição do PIB é o setor de serviços, seguido do setor industrial, depois o setor de administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social e por fim, o setor agropecuário.

Outro caso a destacar é do município de *Serra Grande*, sendo esse o município com menor aumento do PIB dentro do intervalo de 2010 e 2018. Esse fator cresceu apenas 18,9% e em sua composição observa-se a influência primária do setor de administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social, seguido do setor de serviços, do setor industrial e por fim, o setor agropecuário.

Observa-se ainda que, a composição de maior influência na maioria dos municípios foi a do setor de administração, defesa, educação e saúde públicas e seguridade social, seguida do setor de serviços. Em terceiro lugar, o setor agropecuário e por fim, o que menos influenciou na formação do PIB na maior parte das cidades analisadas foi o setor industrial.

Ainda de maneira geral, o IDH-M foi a segunda variável que acompanhou a dinâmica de crescimento dos municípios. Todas as cidades que apresentavam um IDH-M considerado muito baixo, variaram para um índice considerado baixo ou médio, fazendo com que 17 cidades aumentassem o valor desta variável, 11 diminuíssem e apenas 1 município permanecesse no mesmo patamar. Observa-se ainda que na composição deste índice, os fatores de maior influência em todos os municípios é: longevidade, renda e educação.

Ainda nesta análise macro, a variável educação não parece ser um fator que tenha relação direta com o crescimento urbano, uma vez que houve redução do número de matriculados em rede escolar no período entre 2013 e 2019 nos municípios, com exceção de duas cidades: São Bento, que teve um aumento significativo de 45,08% e o município

de Manaíra que aumentou apenas 1,46%, ou seja, basicamente manteve-se. Este fato pode ser justificado pela alta mobilidade de estudantes entre municípios do interior do estado. Muitos alunos matriculados em um município maior podem ser em grande parte residentes de um pequeno município e este deslocamento é, muitas vezes custeado e estimulado pelas prefeituras dos pequenos municípios.

Observando a relação direta entre aumento da variável e aumento da área urbanizada e, considerando estas forças motrizes que impulsionaram o crescimento dos pequenos municípios estudados, segue o Quadro 2.

Quadro 2 – Principais forças motrizes do crescimento urbano dos municípios

Município	Principais forças motrizes		
Água Branca	PIB	IDH-M	
Aguiar	PIB	IDH-M	
Alhandra	PIB	IDH-M	
Areia	PIB	IDH-M	
Bananeiras	PIB	IDH-M	
Boa Vista	IDH-M	PIB	
Bom Sucesso	PIB	IDH-M	
Brejo dos Santos	IDH-M	PIB	
Cabaceiras	PIB	IDH-M	
Caiçara	IDH-M	PIB	
Cajazeirinhas	PIB	IDH-M	
Casserengue	PIB	IDH-M	
Cruz do Espírito Santo	PIB	IDH-M	
Ibiara	PIB	IDH-M	
Igaracy	IDH-M	PIB	
Manaíra	PIB	IDH-M	
Marizópolis	IDH-M	PIB	
Natuba	PIB	IDH-M	
Nova Olinda	PIB	IDH-M	
Olho D'Água	PIB	IDH-M	
Pedra Lavrada	PIB	IDH-M	
Santana de Mangueira	PIB	IDH-M	
São Bento	PIB	IDH-M	Educação
São José de Piranhas	PIB	IDH-M	
São José do Bonfim	PIB	IDH-M	
São José dos Ramos	PIB	IDH-M	
Serra Grande	IDH-M	PIB	
Sertãozinho	IDH-M	PIB	
Solânea	PIB	IDH-M	

Fonte: Autoria própria (2023).

Assim, 22 municípios possivelmente têm como força motriz principal para seu crescimento e desenvolvimento o PIB e isto reflete-se em um IDH-M também mais

elevado. Por outro lado, 7 cidades possuem o IDH-M com maiores variações positivas, seguido do PIB. Destaca-se o município de São Bento, sendo o único que apresentou uma relação direta entre aumento de número de matriculados e crescimento urbano, ficando a variável educação ocupando o terceiro lugar de influência.

4.1.2 Abastecimento de água

De forma geral, percebe-se que todos os municípios apresentam problemas no abastecimento de água. As principais análises de tendências visualizadas foram:

- Em 2010, 26 dos 29 municípios estudados apresentavam índices superiores a 90% de atendimento por meio de rede geral;
- Nenhum município apresentou totalidade de atendimento por meio de rede geral, exceto Cabaceiras que apresentou dados de 100% de abastecimento da zona urbana, mas foi constatado que os novos bairros não eram providos em sua totalidade (o que contradiz dados oficiais);
- O carro-pipa é o segundo meio mais utilizado para abastecimento hídrico, sendo fundamental no suprimento das defasagens da rede geral. Na maioria dos casos, esse tipo de atendimento fica sob responsabilidade das prefeituras municipais e o serviço apresenta altas taxas de intermitências, além da incerteza do nível de tratamento da água fornecida;
- Quase que em sua totalidade, os mananciais sofreram as consequências das crises hídricas (secas prolongadas) da região semiárida, muitas vezes chegando ao colapso do sistema. Esse é o principal motivo do consumo de água oscilar entre os anos, a baixa disponibilidade hídrica ou até mesmo a falta do recurso (principalmente com crescimento da cidade observado);
- A CAGEPA atende majoritariamente a zona urbana de todos os municípios;
- Todos os municípios relataram problemas com o abastecimento intermitente fornecido pela prestadora, com exceção de três: Natuba, Santana de Mangueira e São José do Bonfim que relataram que as interrupções aconteciam de forma esporádica e devido a problemas com energia, operacionais e de manutenção;
- Os principais motivos do abastecimento intermitente, na maioria dos casos, são:
 - A rede de distribuição é antiga e subdimensionada não sendo mais capaz de atender a população de forma adequada, mesmo quando há

disponibilidade hídrica, ou seja, insuficiência do sistema em razão do crescimento populacional;

- A água não chega nos locais mais altos devido à pressão que não consegue vencer a topografia do terreno (critérios hidráulicos). Muitas vezes há rede implantada com longos intervalos de tempo sem presença de água;

Diante do exposto, percebe-se que, apesar das diversas problemáticas com o abastecimento de água nos municípios, esses fatores não foram suficientes para impedir o avanço da expansão das cidades e conseqüentemente do desenvolvimento social, no que se refere ao crescimento do PIB e a progressão do IDH-M de quase todos os municípios estudados. Ademais, o abastecimento de água por carro-pipa foi um grande contribuinte para esse desenvolvimento, suprimindo a população nas intermitências do atendimento por rede geral e nas épocas de crise hídrica.

4.2 ANÁLISE DE PADRÕES

4.2.1 Análise das variáveis

Analisou-se o comportamento dos indicadores quantitativos de demografia e consumo de água e área urbanizada coletados nas bases de dados do SNIS e MapBiomias.

Assim, a Tabela 3 apresenta as dinâmicas observadas de aumento e decréscimo das variáveis em termos percentuais dos 29 municípios no intervalo entre 2005 e 2020. Em suma, percebe-se que a área urbanizada aumentou em todos os municípios, seja em maiores proporções, como é o caso de Cajazeirinhas, que expandiu seu território em 212% ou em menores proporções, como Santana de Mangueira, sendo a cidade que menos espalhou sua mancha urbana, crescendo apenas 27%. As demais variáveis oscilaram seguindo padrões distintos.

Tabela 3 - Análise das variáveis

MUNICÍPIO	POPULAÇÃO TOTAL	POPULAÇÃO ATENDIDA	VOLUME CONSUMIDO	ÁREA URBANIZADA
Água Branca	+ 21,44%	- 46,13%	- 42,26%	+ 115,15 %
Aguiar	+ 21,80%	+ 11,45%	+ 1,65%	+ 113,33%
Alhandra	+ 12,27%	+ 38,26%	+ 70,58%	+ 122,59%
Areia	- 8,93%	+ 21,56%	- 21,15%	+ 81,96 %
Bananeiras	+ 1,44%	- 11,11%	- 25,07%	+ 186,44%
Boa Vista	+ 30,05%	+ 46,59%	+ 26,09%	+ 95,69%
Bom Sucesso	+ 6,26%	+ 39,55%	+ 22,96%	+ 68,29%
Brejo dos Santos	+ 12,04%	+ 12,31%	- 22,33%	+ 46,26 %
Cabaceiras	+ 32,91%	- 17,13%	- 44,65%	+ 80,64%
Caiçara	- 1,78%	+ 9,32%	- 10,46%	+ 30,23 %
Cajazeirinhas	+ 18,79%	+ 102,38%	+ 225,89%	+ 212,5 %
Casserengue	+ 4,03%	- 14,22%	- 32,24%	+ 168,57%
Cruz do Espírito Santo	+ 16,58%	+ 28,03%	+ 2,51%	+ 84,41 %
Ibiara	- 5,67%	+ 13,79%	- 11,81%	+ 35%
Igaracy	- 8,23%	+ 25,64%	+ 28,35%	+ 144%
Manaíra	+ 10,73%	+ 66,55%	+ 58,68%	+ 73,07 %
Marizópolis	+ 22,18%	+ 32,96%	+ 2613,38%	+ 81,13 %
Natuba	+ 5,59%	+ 24,74%	- 2,71%	+ 110,52 %
Nova Olinda	- 10,56%	+ 18,17%	+ 13,96%	+ 29,26%
Olho D'Água	- 8,07%	+ 37,01%	+ 51,77%	+ 46,34 %
Pedra Lavrada	+ 20,06%	+ 13,52%	- 32,33%	+ 100%
Santana de Mangueira	- 3,53%	+ 23,21%	+ 35,10%	+ 27,58 %
São Bento	+ 17,87%	+ 44,38%	+ 0,56%	+ 67,91 %
São José de Piranhas	+ 12,73%	+ 49,88%	+ 35,65%	+ 103,44%
São José do Bonfim	+ 28,55%	+ 99,65%	+ 134,24%	+ 100%
São José dos Ramos	+ 20,20%	+ 76,81%	+ 59,32%	+ 209,09 %
Serra Grande	- 3,31%	+ 51,8%	+ 46,48%	+ 100%
Sertãozinho	+ 17,66%	+ 63,34%	+ 74,58%	+ 188,23%
Solânea	- 17,93%	+ 1,9%	- 13,30%	+ 38,25%

Fonte: Autoria própria (2022).

Observa-se que, nos 15 anos estudados, os municípios que tiveram um crescimento expressivo no volume consumido (Cajazeirinhas, Manaíra e São José do Bonfim) também aumentaram a população abastecida de água. Esse comportamento é o mais esperado, pelo fato de que, quanto maior a população atendida, provavelmente maior o consumo de água (não levando em consideração a faixa etária, renda, uso do solo e outros fatores).

Cajazeirinhas relatou pouca pressão nas tubulações devido ao crescimento significativo da mancha urbana e o crescimento populacional, mesmo assim, manteve e ampliou o abastecimento hídrico, apesar de apresentar intermitência. Manaíra, apesar de apresentar irregularidade no serviço, tanto por rede geral quanto por carro-pipa, apresentou aumento nas variáveis que pode ser justificado pela boa oferta hídrica, em

razão do manancial que atende ao município ser classificado com baixa vulnerabilidade e apresentar volumes superiores a 40% entre 2005 e 2020.

São José do Bonfim foi uma das três cidades que apresentaram abastecimento de água contínuo, ou seja, sem intermitência, o que pode explicar o crescimento de ambas as variáveis. Esse município retratou apenas problemáticas quanto a água turva, porém, apenas nos períodos em que ocorria chuvas mais fortes e frequentes.

Em síntese, a partir das similaridades das oscilações das variáveis, fez-se o enquadramento dos municípios em cinco grupos, podendo ser visualizado no Quadro 3.

O grupo que obteve o maior número de municípios foi aquele em que todas as variáveis aumentaram, contemplando 13 cidades. Esse comportamento é o mais comum nos centros urbanos dos países desenvolvidos, assim como afirmam Farhan *et al.* (2019), Cao *et al.* (2020) e Zubaidi *et al.* (2019). Dentre essas cidades, 10 tiveram como força motriz principal o desenvolvimento econômico, o que se assemelha mais ainda com o comportamento de desenvolvimento das cidades mais desenvolvidas. Em contrapartida, o grupo com menor número de municípios foi o que diminuiu o VC ao passo que aumentou os demais indicadores, abrangendo 3 cidades.

Quadro 3 - Enquadramento dos municípios segundo as oscilações das variáveis

CLASSES	MUNICÍPIOS
+ PT e AU	Água Branca, Bananeiras, Cabaceiras e Casserengue
- PA e VC	
+ PT, PA, VC e AU	Aguiar, Alhandra, Boa Vista, Bom Sucesso, Cajazeirinhas, Cruz do Espírito Santo, Manaíra, Marizópolis, São Bento, São José de Piranhas, São José do Bonfim, São José dos Ramos e Sertãozinho
-	
+ PA e AU	Areia, Caiçara, Ibiara e Solânea
- PT e VC	
+ PT, PA e AU	Brejo dos Santos, Natuba e Pedra Lavrada
- VC	
+ PA, VC e AU	Igaracy, Nova Olinda, Olho d'Água, Santana de Mangueira e Serra Grande
- PT	
PT: população total; PA: população atendida; AU: área urbanizada; VC: volume consumido	

Fonte: Autoria própria (2022).

Dois grupos possuem 4 municípios cada, sendo que em um, a PA e AU cresceram e a PT e VC diminuíram, no outro, a PT e a AU aumentou enquanto que a PA e VC decresceu. Ainda, 5 municípios estão presentes na categoria que reduziu a PT mas ampliou as demais variáveis.

Como mencionado, a AU foi a variável que aumentou em todos os municípios, em seguida, a variável PA aumenta em quatro grupos, o que pode significar que a maioria dos municípios estão ampliando as infraestruturas hídricas das cidades e que a população

estaria com maior acesso a água em suas residências. Adiante, a PT aumenta em três grupos, o que deixa explícito, que o aumento da população total de um município nem sempre redundava em aumento de habitantes abastecidos por água.

Por fim, observa-se que em alguns municípios o VC independe da PT e/ou PA e na grande maioria há uma diminuição desta variável, certamente devido ao fato dos municípios, em sua totalidade, lidarem com problemas no abastecimento hídrico. A maioria dos mananciais sofreram consequências decorrente da crise hídrica prolongada que assolou a região semiárida do Brasil, fazendo com que alguns sistemas não conseguissem suportar os impactos e colapsassem, além disso, esses fatores contribuíram para as frequentes oscilações do volume consumido dos municípios e conseqüentemente, a intermitência do serviço. Outros fatores que podem somar-se a esses é o subdimensionamento, rede antiga e pouca pressão.

4.2.2 Métodos estatísticos

Aplicando os métodos estatísticos de Coeficiente de determinação (r^2) e a Correlação de *Pearson* (r) para analisar a área urbanizada e o volume consumido dos 29 municípios entre os anos de 2005 e 2020, tem-se os resultados listados na Tabela 4. A correlação implica na influência da área urbanizada no volume consumido dessas cidades, assim, as correlações encontradas foram: muita fraca, fraca, moderada e forte.

Tabela 4 - Análise da correlação entre área urbanizada e volume consumido

MUNICÍPIOS	CORRELAÇÃO	INTERPRETAÇÃO
Areia	0,05	Muito fraca
Cruz do Espírito Santo	0,05	
Ibiara	-0,04	
Marizópolis	-0,08	
Água Branca	-0,13	Fraca
Bom Sucesso	-0,11	
Igaracy	0,20	
São José de Piranhas	0,12	
Aguiar	0,38	Moderada
Alhandra	0,55	
Bananeiras	-0,32	
Boa Vista	0,37	
Brejo dos Santos	-0,31	
Cabaceiras	-0,57	
Caçara	-0,58	
Cajazeirinhas	0,58	
Natuba	0,42	
Nova Olinda	0,34	
Pedra Lavrada	-0,52	Forte
São Bento	0,41	
São José do Bonfim	0,40	
Solânea	-0,49	
Casserengue	-0,84	
Manáira	0,69	
Olho D'Água	0,67	
Santana de Mangueira	0,75	
São José dos Ramos	0,60	
Serra Grande	0,83	
Sertãozinho	0,80	

Fonte: Autoria própria (2022).

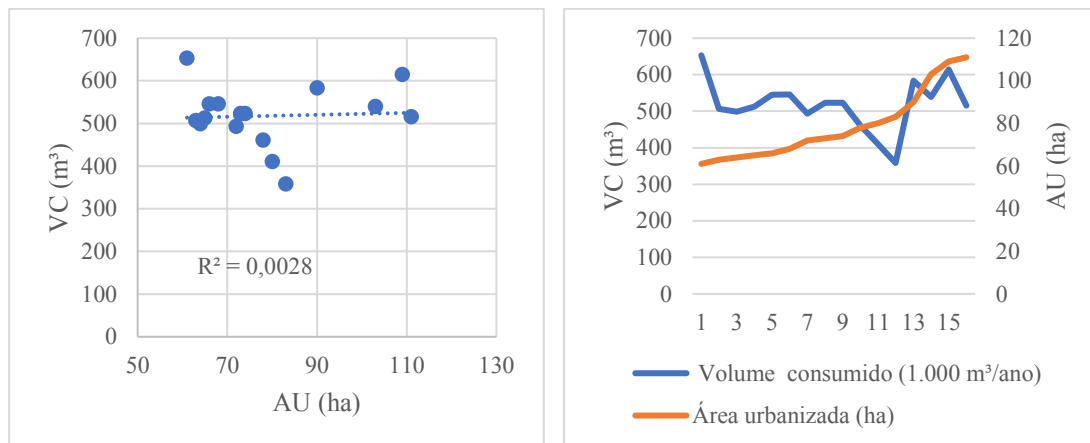
Para a correlação *muito fraca*, têm-se 4 municípios: Areia, Cruz do Espírito Santo, Ibiara e Marizópolis. Areia e Ibiara pertencem ao grupo que aumentou PA e AU, mas diminuíram a PT e o VC. Areia teve correlação positiva de 0,05, embora o VC tenha diminuído e a AU aumentado. Isso pode decorrer das grandes oscilações que o VC apresentou durante os anos estudados, ocorrendo variações mais de acréscimo do que decréscimo, por mais que no final do intervalo, tenha diminuído. Ainda, a AU aumentou 81,96% enquanto que o VC diminuiu 21,15%, ou seja, um aumentou em maiores proporções e o outro teve uma diminuição suave (Figura 57). Neste caso, pode-se inferir que grande parte do VC não está notificado nas bases oficiais.

Areia é abastecida por rede de distribuição através de dois sistemas que captam água em dois açudes, o Saulo Maia e o Vaca Brava. O primeiro apresenta níveis dentro da normalidade (dentro do intervalo que foi disponibilizado informações – 2016 a 2020) e esse último apresenta volumes baixos a partir de 2014 até 2020, atingindo níveis inferiores a 5% e não ultrapassando 20% de sua capacidade total. Isso explica as

inconstâncias no consumo anual e a diminuição do volume consumido no final do período analisado.

Figura 57 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de

Areia

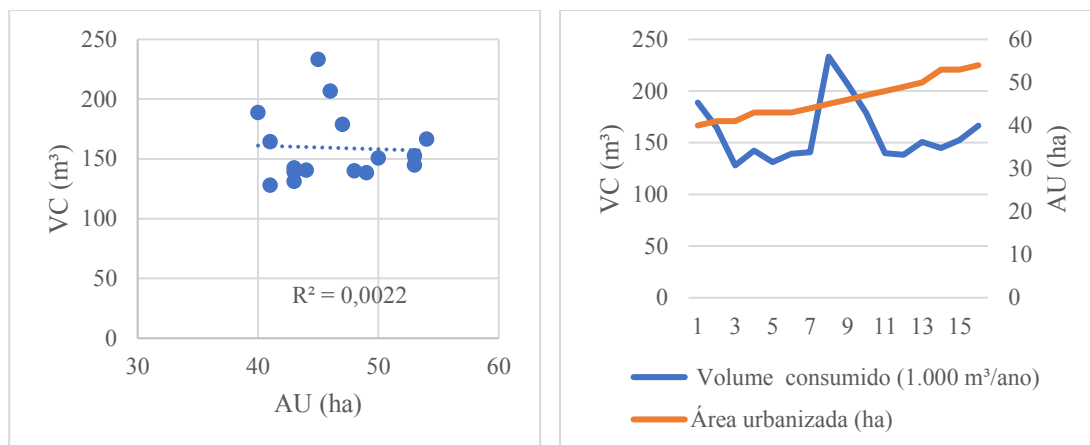


Fonte: Autoria própria (2022).

Ibiara teve correlação negativa de 0,04. As variáveis tiveram alternâncias mais próximas, a área urbanizada aumentou 35% à medida que o volume consumido diminuiu 11,81%, porém, esse último oscilou durante os anos, o que faz com que quase não haja associações entre ambos, tendo em vista que a área urbanizada cresceu de forma constante (Figura 58).

O manancial que abastece o município é o Açude de Piranhas, porém, a captação não se dá diretamente na barragem, mas em um afluente. Entre 2005 e 2020 esse açude apresentou níveis em torno de 60% de sua capacidade máxima, com exceção de 2015 e 2016 que os níveis foram mais baixos, chegando a 10% do total de seu volume em 2016, porém, o volume consumido não reflete esse efeito mantendo-se basicamente o mesmo consumo que nos anos próximos. Outro ponto a ser analisado é que, como a captação não se dá na barragem em si, não tendo-se informações sobre o comportamento das vazões de captação do afluente, torna-se complexa a identificação de uma relação direta entre disponibilidade hídrica e oscilações de consumo.

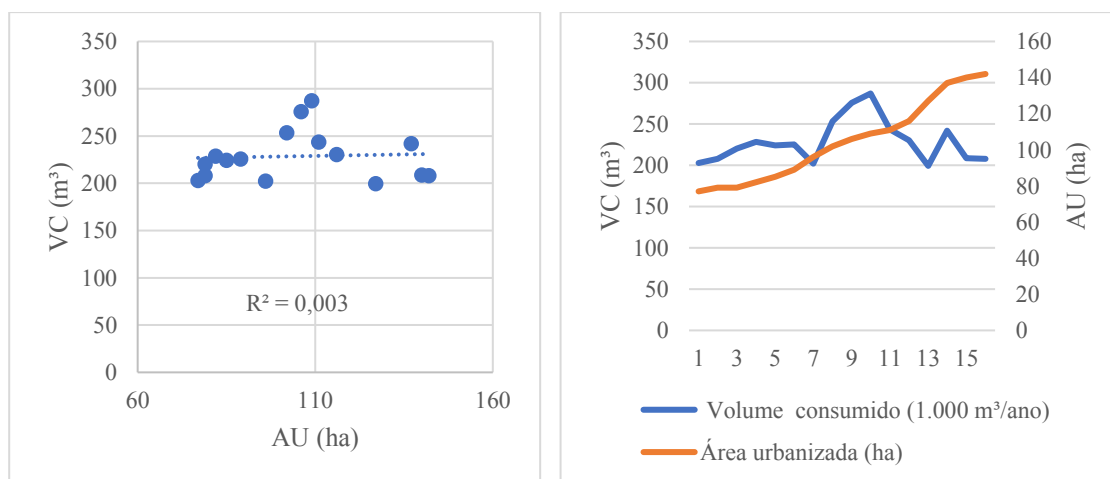
Figura 58 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Ibiara



Fonte: Autoria própria (2022).

Cruz do Espírito Santo e Marizópolis estão no grupo em que todos os indicadores aumentaram. Assim, Cruz do Espírito Santo obteve correlação positiva 0,05, o que pode ser explicado pelo pequeno aumento de 2,51% do volume consumido e grandes oscilações no intervalo analisado enquanto que a área urbanizada aumentou 84,41% de forma mais linear (Figura 59). Esse município é atendido pelo riacho das Folhas, sobre o qual não há muitas informações disponíveis, sendo assim, não há como ter conclusões mais precisas.

Figura 59 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Cruz do Espírito Santo

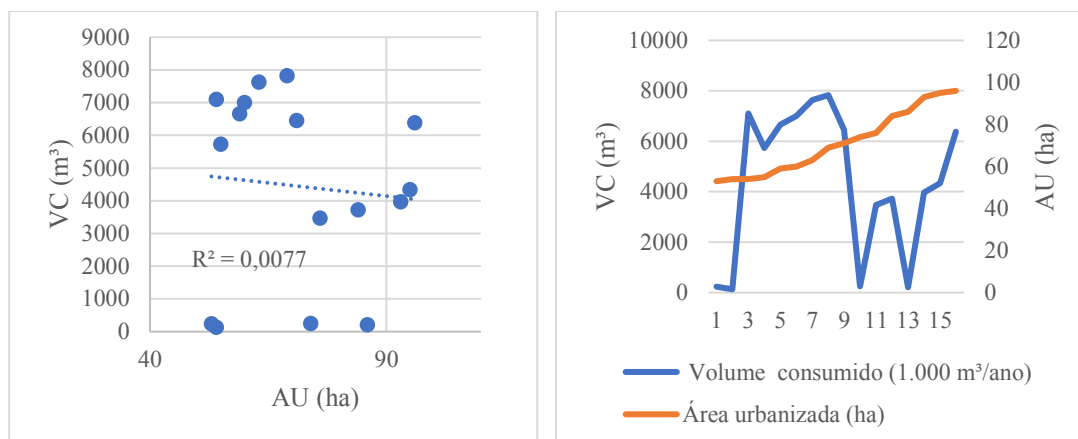


Fonte: Autoria própria (2022).

Quanto a Marizópolis, a correlação foi negativa de 0,08, pois o VC aumentou 32 vezes mais que a AU. Além disso, os picos de consumo não se associam ao crescimento urbano constante. Esses picos de decréscimo ocorreram devido à escassez do recurso,

tendo em vista que esses pontos mínimos condizem, em sua maioria, com os pontos em que o açude São Gonçalo, que abastece o município, apresentou volumes em torno de 20% de sua capacidade máxima (Figura 60).

Figura 60 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Marizópolis

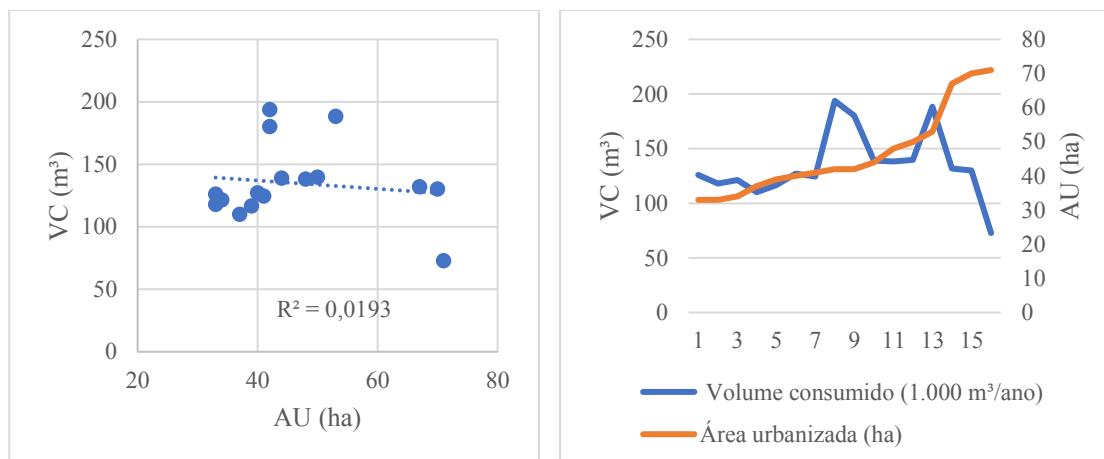


Fonte: Autoria própria (2022).

A correlação *fraca* contempla 4 municípios, a saber: Água Branca, Bom Sucesso, Igaracy e São José de Piranhas. Água Branca pertence a classe que aumentou PT e AU, mas diminuiu a PA e VC. Este município obteve a correlação negativa de 0,13 devido a AU ter aumentado 115,15% à medida que o volume consumido diminuiu 42,26%, além das oscilações mais acentuadas (Figura 61).

O manancial que abastece esse município é o Bom Jesus II. Entre 2005 e 2011 apresentou níveis próximo de sua capacidade máxima. A partir de 2012 os níveis foram baixando de forma constante e linear, chegando em 2015 com níveis em torno de 10% do volume total e assim permanecendo até 2017. Após esse período começou a aumentar seu volume de forma suave e irregular. Essas dinâmicas podem justificar as oscilações no volume consumido de Água Branca.

Figura 61 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Água Branca

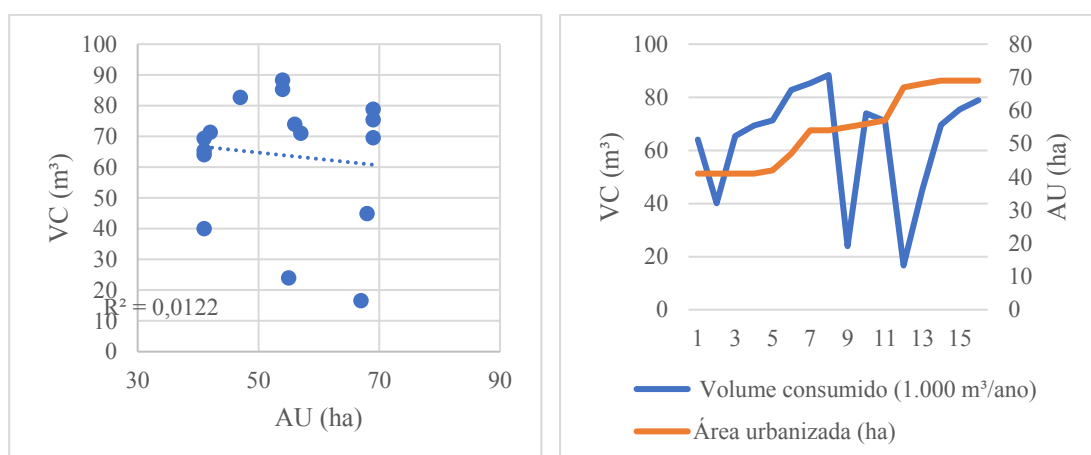


Fonte: Autoria própria (2022).

Bom Sucesso e São José de Piranhas pertencem ao grupo que aumentou todos os indicadores. Bom Sucesso possui correlação negativa de 0,11, que pode ser explicada pelo fato de que, no decorrer dos anos, o VC apresentou variações com picos decrescentes e a AU aumentou de forma linear, o que resultou em uma maior dispersão entre os pontos (Figura 62).

Os picos de decréscimo ocorreram devido à escassez do recurso. O manancial que abastece a cidade é o açude de Carneiro que também abastece aos municípios de Jericó, Lagoa, Brejo dos Santos e Mato Grosso. Entre 2012 e 2019, o reservatório apresentou volumes inferiores a 5% de sua capacidade máxima, o que fez com que o sistema colapsasse.

Figura 62 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Bom Sucesso

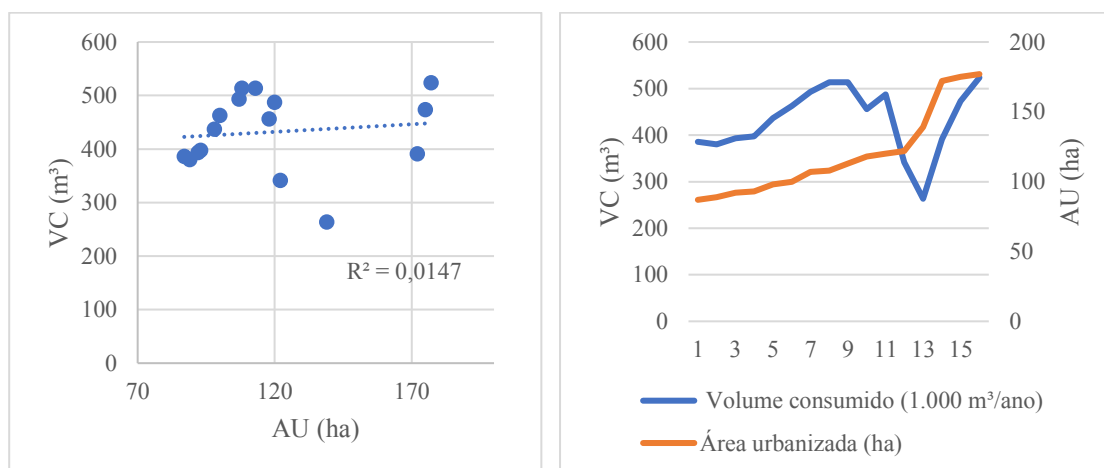


Fonte: Autoria própria (2022).

São José de Piranhas possui correlação positiva de 0,12 devido ambos os indicadores terem aumentado, entretanto, a pequena associação se deve ao crescimento da AU ter sido muito maior que o aumento do VC. Além disso, este último sofreu algumas oscilações durante os anos (Figura 63).

Essas oscilações se devem aos níveis do açude São José I que atende o município. O manancial apresenta constantes variações de acréscimo e decréscimo, sendo os mais acentuados entre os anos de 2016 e 2017 em que o reservatório atingiu níveis críticos, chegando a colapsar. Logo após esse período, os níveis começaram a subir e voltaram ao estágio de normalidade.

Figura 63 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de São José de Piranhas

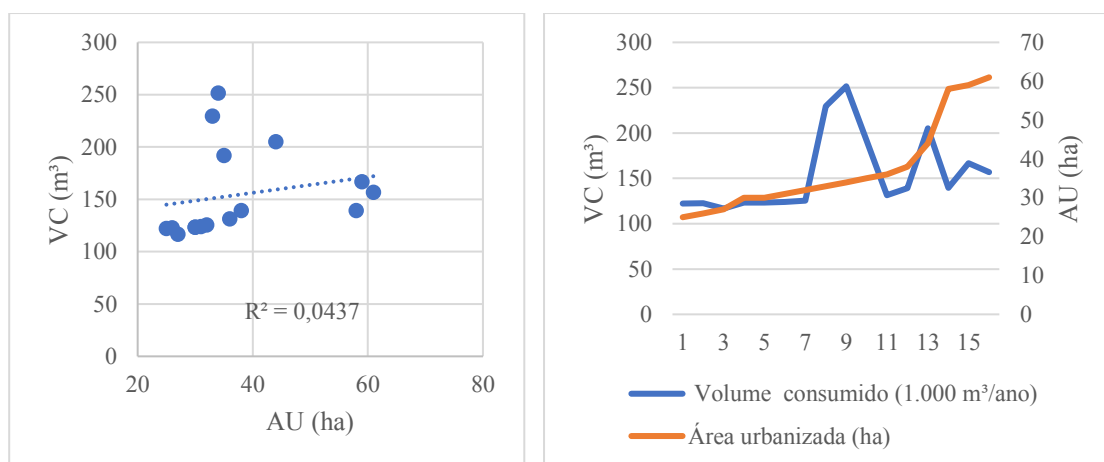


Fonte: Autoria própria (2022).

O grupo que Igaracy está inserida diminuiu a PT e aumentou as demais variáveis. A associação entre os indicadores é positiva e fraca, no valor de 0,20, em razão do VC não acompanhar o comportamento do crescimento da AU, enquanto que o território expandiu 144%, o consumo de água aumentou apenas 28,35%, ademais, durante o intervalo de análise, verificou-se vários picos de acréscimo e decréscimo, o que influenciou em uma maior dispersão entre os pontos (Figura 64).

Essas oscilações se devem ao período em que o açude Boqueirão dos Cochos, que abastece o município, apresentou volumes mais baixos que a normalidade, entre 2013 e 2019. Isso ocorreu devido a prolongada crise hídrica que o semiárido enfrentou.

Figura 64 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Igaracy



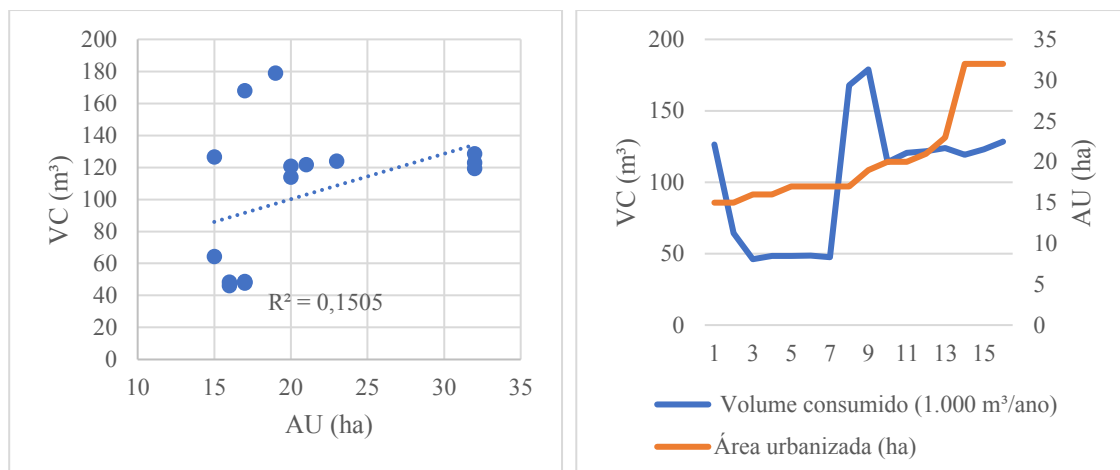
Fonte: Autoria própria (2022).

A maioria dos municípios possuem correlação *moderada*, totalizando 14 cidades, sendo elas: Aguiar, Alhandra, Bananeiras, Boa Vista, Brejo dos Santos, Cabaceiras, Caiçara, Cajazeirinhas, Natuba, Nova Olinda, Pedra Lavrada, São Bento, São José do Bonfim e Solânea. Aguiar, Alhandra, Boa Vista, Cajazeirinhas, São Bento e São José do Bonfim pertencem ao grupo que aumentou todas as variáveis e todos possuem correlação positiva.

Aguiar obteve o valor de 0,38, uma vez que, durante o período estudado, o VC apresentou dois intervalos mais constantes, assim como o crescimento da AU, o que culminou em pontos de dispersão mais próximos da linha de tendência. Alguns picos de acréscimo e decréscimo impedem uma maior correlação (Figura 65).

O município é abastecido pelo açude Frutuoso II que, entre 2005 e 2011 apresentou níveis dentro da normalidade, entre 2012 até 2019 apresentou níveis baixos e situações críticas, sendo necessário operar o sistema em racionamento sazonal, depois, voltou a aumentar o volume. Algo peculiar acontece com Aguiar, enquanto que no seu estado de normalidade, o volume consumido foi menor quando comparado ao período em que o reservatório apresentava volumes menores e operada com racionamento de água.

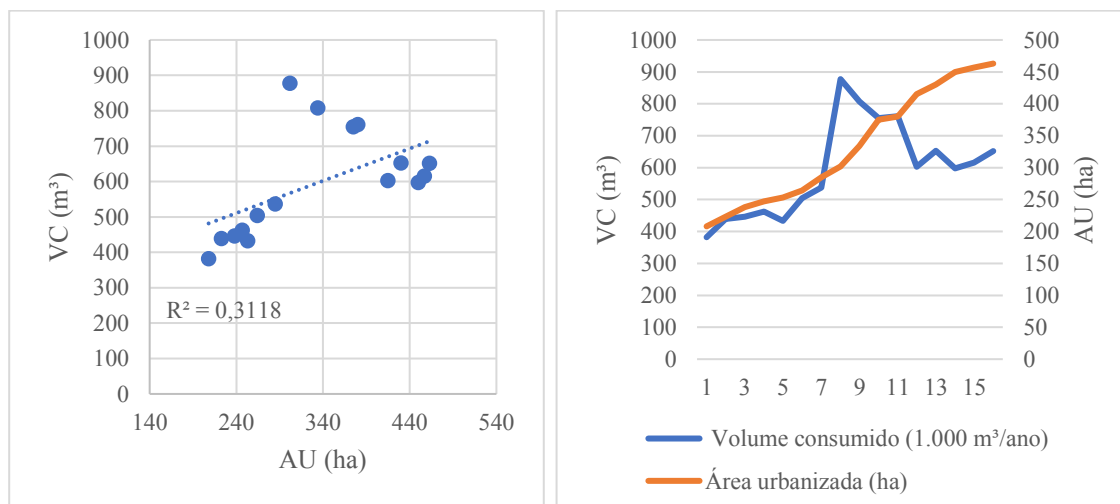
Figura 65 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Aguiar



Fonte: Autoria própria (2022).

Alhandra possui correlação de 0,55 em razão de ambos os indicadores terem aumentado progressivamente de forma parecida, mesmo o VC aumentou 70,58% e a AU 122,59% (Figura 66). Esse município está localizado fora da zona semiárida brasileira, o que diferencia suas condições climatológicas e provavelmente o coloca em melhores condições de aporte hídrico, com picos de acréscimo no VC.

Figura 66 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Alhandra

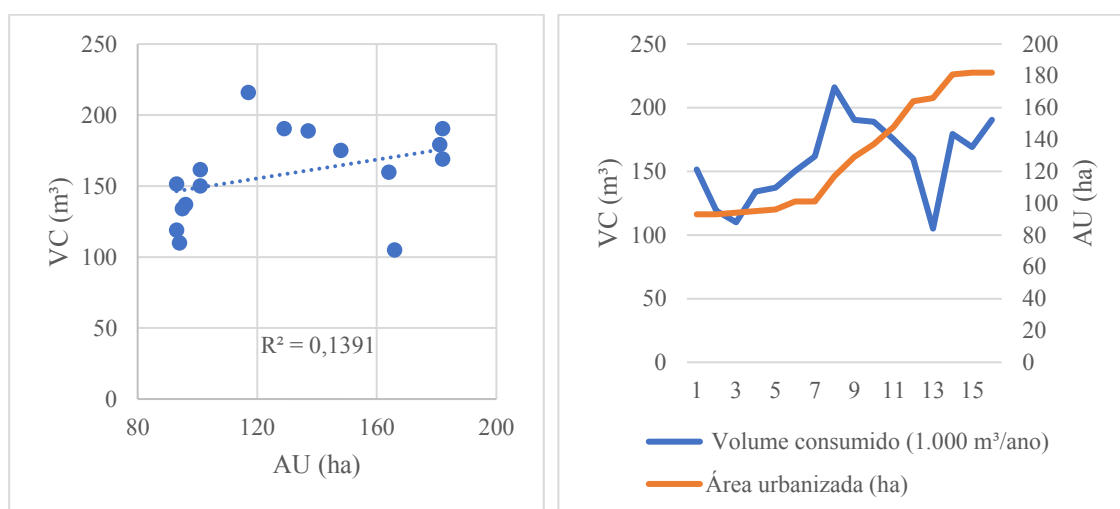


Fonte: Autoria própria (2022).

Boa Vista apresenta o valor de 0,37, sendo a menor correlação desse grupo. As várias alternâncias dos anos em questão de aumento e diminuição do VC faz com que os pontos de dispersão fiquem mais longe da linha de tendência, tendo em vista que o crescimento da AU se dá de forma mais linear (Figura 67).

O município é abastecido pelo sistema hídrico Poções-Epitácio Pessoa (Boqueirão) que também atende a mais 19 cidades. O sistema enfrentou uma grave crise hídrica entre 2012 e 2018, o que culminou no colapso do reservatório em 2017, o que explica o maior pico de decréscimo no VC, com a falta do recurso. O manancial começou a aumentar seu nível apenas depois da afluência das águas advindas do PISF (Projeto de Integração do Rio São Francisco).

Figura 67 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Boa Vista

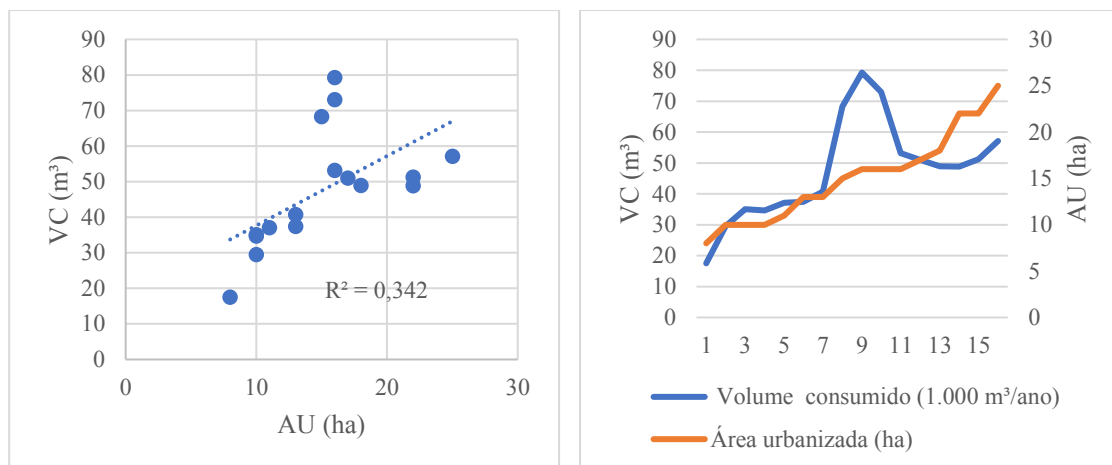


Fonte: Autoria própria (2022).

Cajazeirinhas obteve a maior correlação desse grupo (0,58), o que se deve ao crescimento semelhante entre as variáveis. O VC aumentou 225,89% e a AU 212,5%, apesar tendência de crescimento semelhante, a correlação não foi maior devido a alguns picos mais acentuados do consumo de água (Figura 68). O município é abastecido pelo Rio Piancó que possui regime de escoamento intermitente, o que pode explicar as oscilações no consumo de água.

São José do Bonfim apresenta correlação de 0,40. O município aumentou a AU e o VC com percentuais semelhantes, 100% e 134,24% respectivamente. Entretanto, as oscilações em vários anos do consumo de água fizeram com que os pontos se distanciassem da linha de tendência, o que barrou uma maior associação, tendo em vista que a área urbanizada aumentou de forma linear (Figura 69).

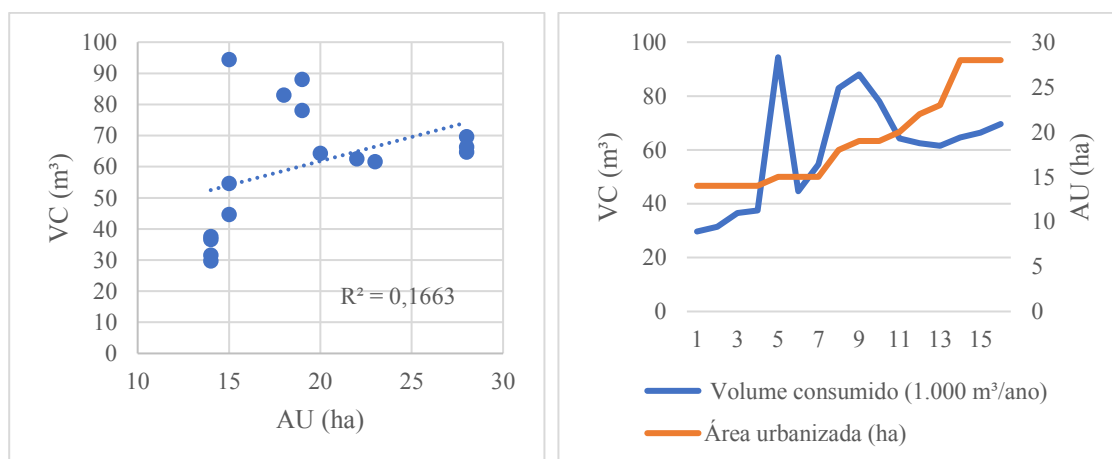
Figura 68 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Cajazeirinhas



Fonte: Autoria própria (2022).

O município de São José dom Bonfim é atendido de água através do açude Capoeira que também abastece o município de Santa Terezinha e o Sistema Integrado Coremas-Sabugi que atende a 11 cidades. A partir de 2009 o manancial começou a diminuir o seu volume e em 2018 atingiu níveis inferiores a 10% de sua capacidade total. Dentro desse intervalo, a capacidade volumétrica do reservatório variou, o que justifica as oscilações no consumo de água da cidade.

Figura 69 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de São José do Bonfim

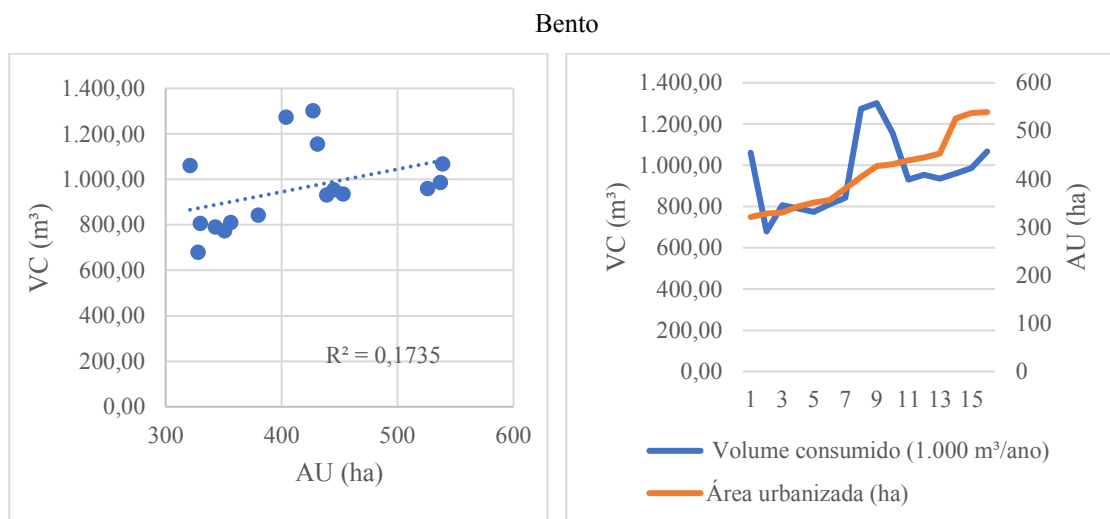


Fonte: Autoria própria (2022).

São Bento possui correlação de 0,41. O VC aumentou apenas 0,56% enquanto que a AU aumentou 67,91%. Todavia, o volume apresentou períodos mais constantes, semelhante ao crescimento da AU, o que desencadeou pontos mais próximos da linha de tendência resultando em uma influência moderada (Figura 70).

O município é abastecido pelo Rio Piranhas que também atende a diversos municípios nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, além disso, o rio possui regime de escoamento intermitente. As oscilações no volume consumido podem ser explicadas devido à grande quantidade de cidades atendidas pelo manancial e em detrimento do aporte hídrico disponível.

Figura 70 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de São

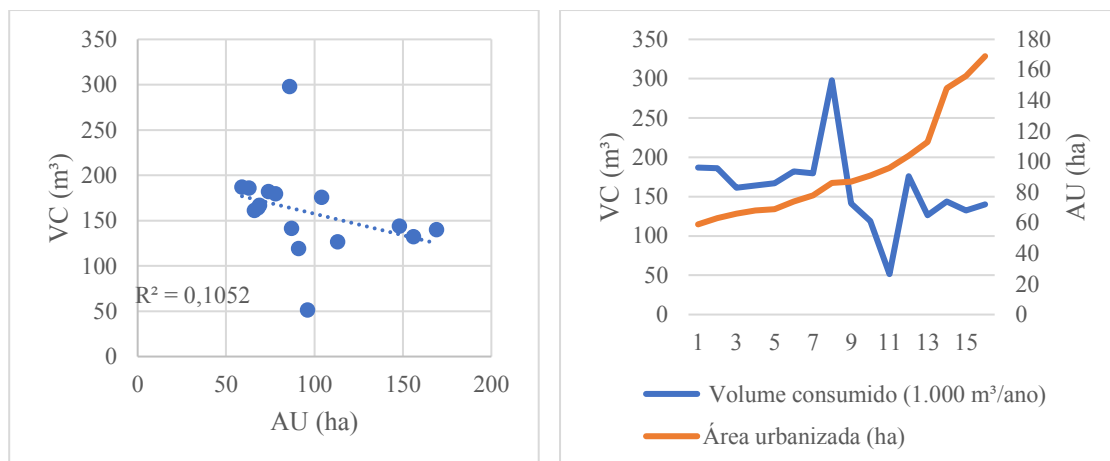


Fonte: Autoria própria (2022).

Bananeiras e Cabaceiras estão inseridas no grupo que aumentou a PT e AU e diminuiu a PA e o VC. Bananeiras apresenta correlação negativa de 0,32 que pode ser justificada pelo crescimento de 186,44% da área urbana enquanto que o volume consumido diminuiu em 25,07%, além do mais, o consumo de água apresentou diversas oscilações no decorrer dos anos, o que divergiu do crescimento urbano, sendo esse mais linear (Figura 71).

Essas oscilações ocorreram devido à crise em que a barragem de Canafistula II, que abastece majoritariamente a cidade, enfrentou. De 2005 a 2011, o manancial apresentou volumes inconstantes, em um único ano havia picos de acréscimo e decréscimo, porém, de 2012 a 2020, os níveis eram baixos e não atingiu volumes de normalidade. O volume não ultrapassava 30% da capacidade máxima do reservatório. Esses fatores explicam a queda e as diversas oscilações do VC de água no município.

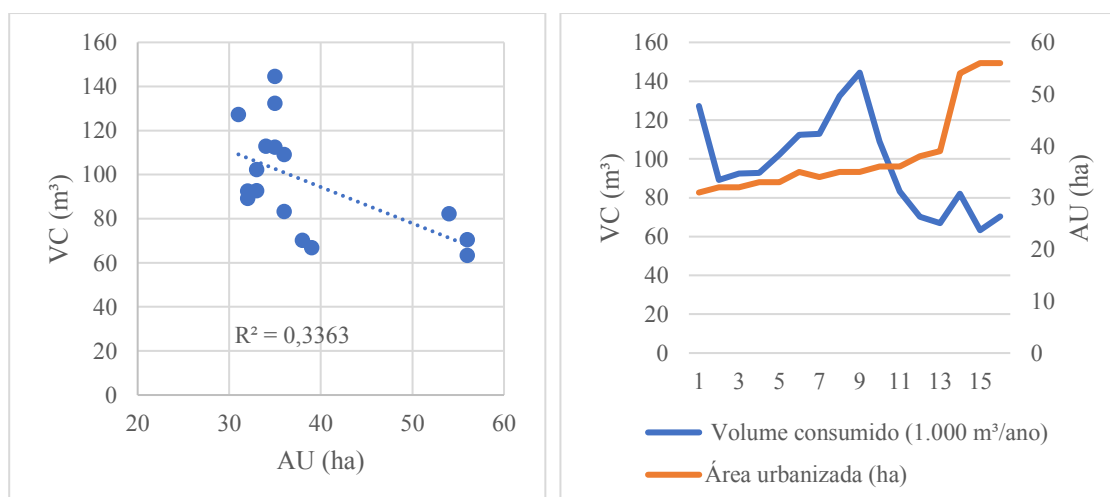
Figura 71 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Bananeiras



Fonte: Autoria própria (2022).

Cabaceiras possui correlação negativa de 0,57. A AU aumentou basicamente o dobro do que o VC diminuiu, ademais, esse último teve dois períodos que se assemelharam ao crescimento urbano, sendo um de acréscimo e o outro de decréscimo, ambos constantes, assim como a AU (Figura 72). Assim como Boa Vista, esse município também é abastecido pelo sistema hídrico Poções-Epitácio Pessoa, conhecido como Boqueirão. Dessa maneira, o período de decréscimo se deve a extensa crise hídrica enfrentada entre 2012 e 2018 e o colapso do sistema em 2017.

Figura 72 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Cabaceiras



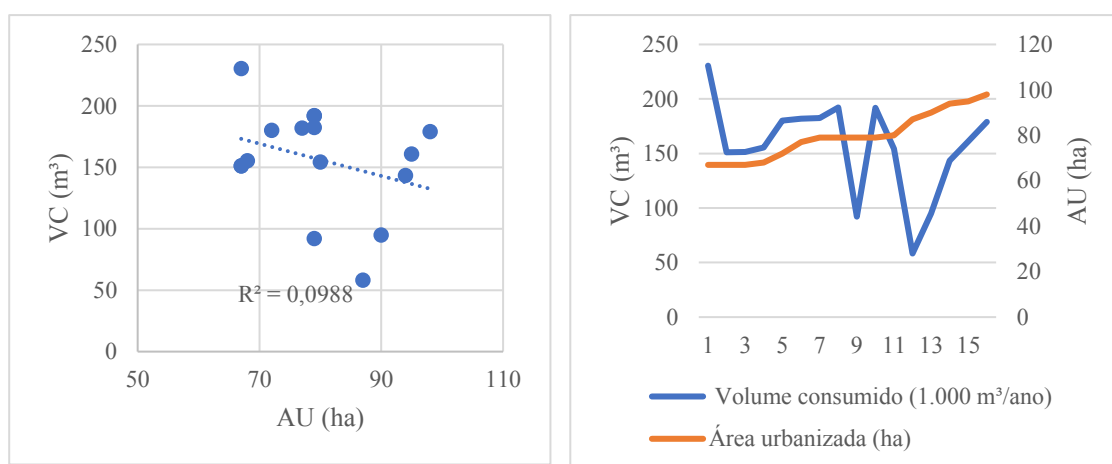
Fonte: Autoria própria (2022).

Brejo dos Santos, Natuba e Pedra Lavrada representam toda a categoria que diminuiu o VC e aumentou as demais variáveis. Brejo dos Santos obteve correlação

negativa de 0,31 devido, em um determinado período o volume consumido ter crescido de forma mais linear, assim como a AU. Nos outros períodos, as alterações anuais expressivas inconstantes no consumo de água contribuíram para o impedimento de uma maior correlação (Figura 73).

Essas alternâncias bruscas foram decorrentes da crise em que o manancial que abastece o município se encontrava. O reservatório é o açude de Carneiro que também atende outras cidades e entre 2012 e 2019 atingiu volumes inferiores a 5% de sua capacidade máxima, o que fez com que o sistema colapsasse.

Figura 73 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Brejo dos Santos

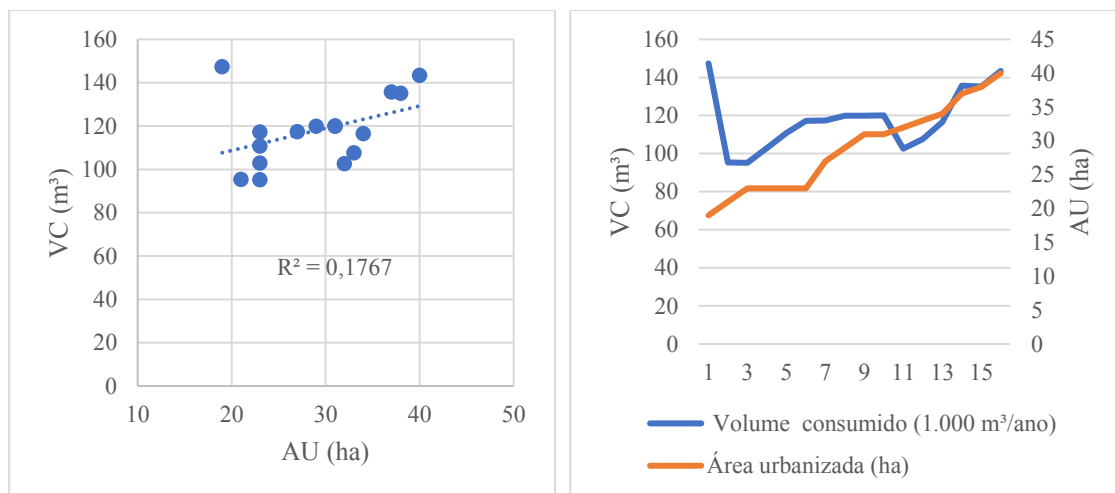


Fonte: Autoria própria (2022).

O município de Natuba apresentou valor positivo do Coeficiente de *Pearson* de 0,42. O crescimento urbano e o VC desenvolveram-se de forma semelhante, apesar do primeiro aumentar 110,52% e o último diminuir apenas 2,71%. O positivo do coeficiente se deve ao crescimento da área urbana e do VC em quase todo o período analisado, apesar de que no final tenha decrescido, quando comparado ao início (Figura 74).

O município é atendido por duas fontes hídricas: o açude Natuba e a barragem de nível do Riacho Caiana. Esses mananciais abastecem também os municípios de Umbuzeiro e Santa Cecília. Dessa maneira, as oscilações do volume consumido podem ser explicadas em derretimento da insuficiência do recurso quanto ao atendimento de várias cidades, principalmente no período em que o semiárido enfrentou uma crise hídrica prolongada (2012-2018).

Figura 74 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Natuba

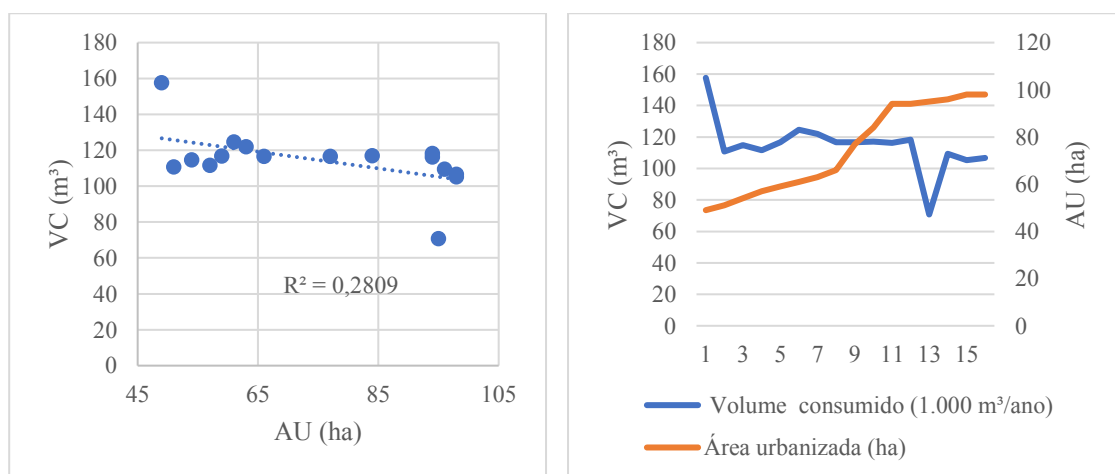


Fonte: Autoria própria (2022).

Pedra Lavrada teve correlação negativa de 0,52, isso pode ser justificado pela forma de distribuição anual semelhante do decréscimo do volume consumido e aumento da área urbanizada. Essa harmonia, mesmo que indiretamente, contempla pontos mais próximos da linha de tendência, o que influencia na associação, mesmo o consumo diminuindo 32,33% e a área urbana crescendo 100% (Figura 75).

O pico decrescente é decorrente da crise hídrica enfrentada pelo sistema hídrico Poções-Epitácio Pessoa, que abastece o município e tantos outros. Essa variação expressiva se deve ao colapso do reservatório em 2017.

Figura 75 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Pedra Lavrada

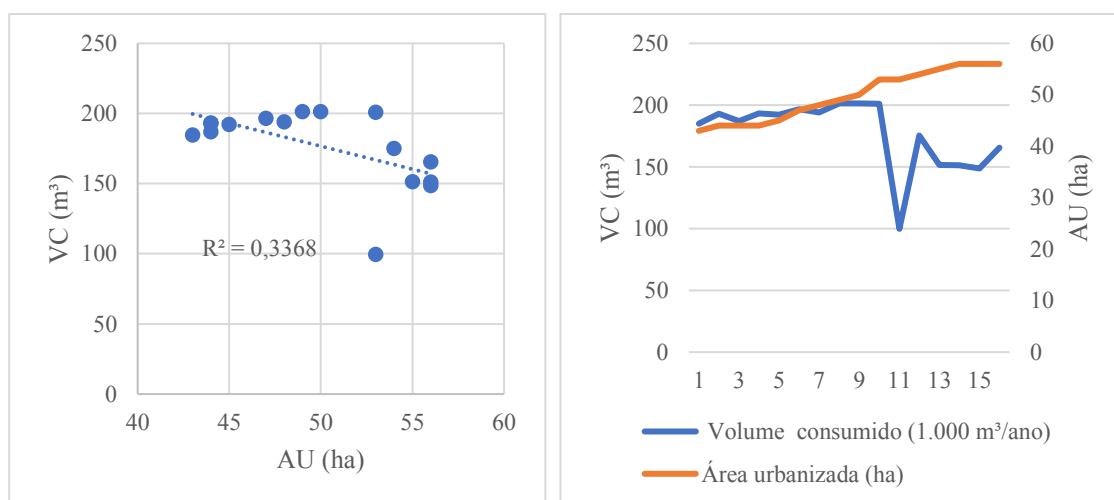


Fonte: Autoria própria (2022).

Ainda em relação aos municípios com correlação *moderada*, Caiçara e Solânea pertencem a categoria que aumentou a PA e a AU e diminuiu a PT e o VC, dessa maneira, ambos possuem correlação negativa de 0,58 e 0,49, nessa ordem. Basicamente, nos dois casos, as variáveis desenvolveram-se de forma semelhante na maior parte do intervalo analisado. Mesmo a AU aumentando 3x mais que o decréscimo do VC em ambos os municípios. Observa-se ainda que Caiçara possui uma maior harmonia entre os indicadores, o que justifica a maior correlação.

O pico mais expressivo no volume consumido nos dois municípios ocorre no ano de 2015, sendo esse decorrente da crise hídrica em que estavam inseridos. O açude Lagoa do Matias abastece Caiçara e na maioria dos anos os níveis estão dentro da normalidade, porém, depois de 2012 os volumes se alteraram bastante entre os meses de um mesmo ano (Figura 76).

Figura 76 Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Caiçara

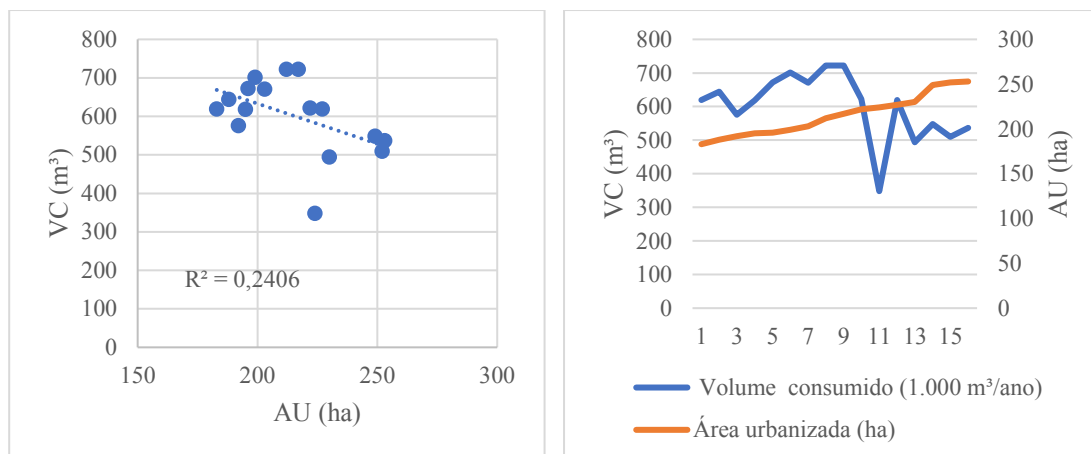


Fonte: Autoria própria (2022).

A Barragem de Canafistula II atende a Solânea e entre 2013 e 2020 apresentou níveis baixos de reservação, não ultrapassando 30%, o que explica as oscilações mais acentuadas no VC (Figura 77).

Nova Olinda está incluída no grupo que diminuiu a PT, mas aumentou os demais indicadores. Esse município possui correlação de 0,34 que pode ser explicada pelos picos no VC na maior parte do intervalo analisado, o que difere do desenvolvimento da AU, que cresceu de forma suave. Dessa maneira, os pontos de dispersão ficaram mais distantes da linha de tendência impedindo uma maior correlação (Figura 78).

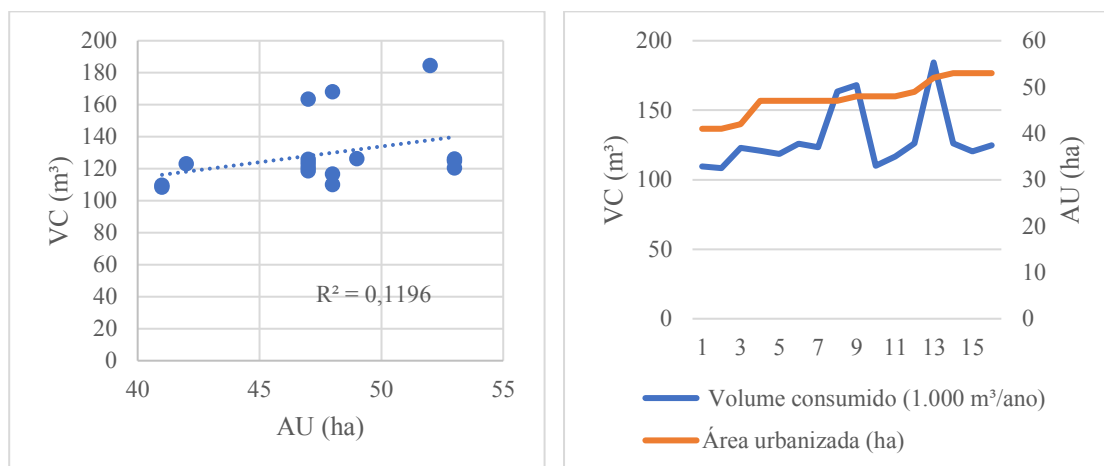
Figura 77 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Solânea



Fonte: Autoria própria (2022).

O manancial que abastece o município de Nova Olinda é o açude Saco. Após 2009 o reservatório apresentou volumes em torno de 30% de sua capacidade máxima. Isso ocorreu devido à crise hídrica que assolou a região, o que justifica as constantes oscilações no VC.

Figura 78 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Nova Olinda



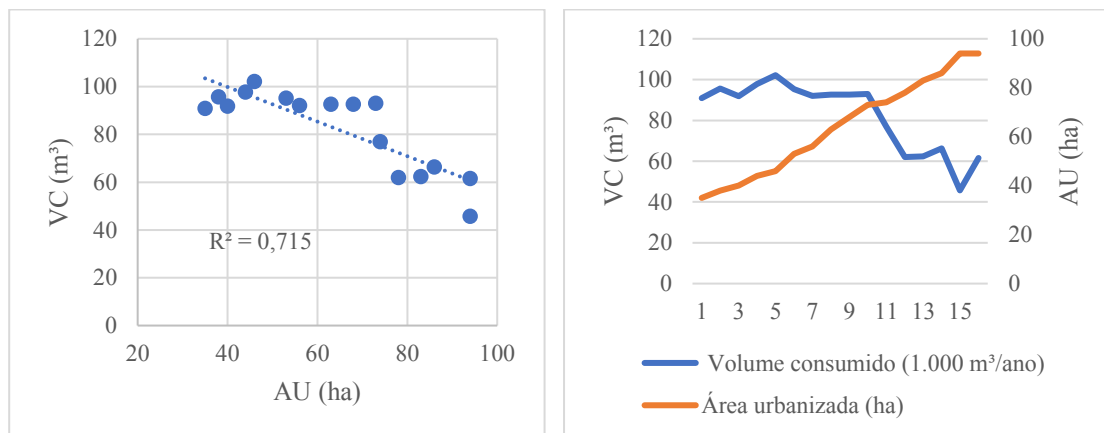
Fonte: Autoria própria (2022).

Por fim, 7 municípios apresentaram correlação *forte*, a saber: Casserengue, Manaíra, Olho D'Água, Santana de Mangueira, São José dos Ramos, Serra Grande e Sertãozinho. Casserengue pertence ao grupo que aumentou a PT e AU, mas diminuiu a PA e VC, possuindo a maior correlação entre todos os municípios, de 0,84 (negativa). O VC basicamente muda a cada dois anos no intervalo analisado, isto é, em dois anos

aumenta, e em dois anos diminui. Quanto a AU, aumenta em todos os anos com exceção dos dois últimos, que se mantém (Figura 79).

O período em que ocorre o declínio mais acentuado do VC pode estar associado a escassez do recurso, tendo em vista que compreende basicamente o mesmo intervalo em que a região semiárida passava por crise hídrica.

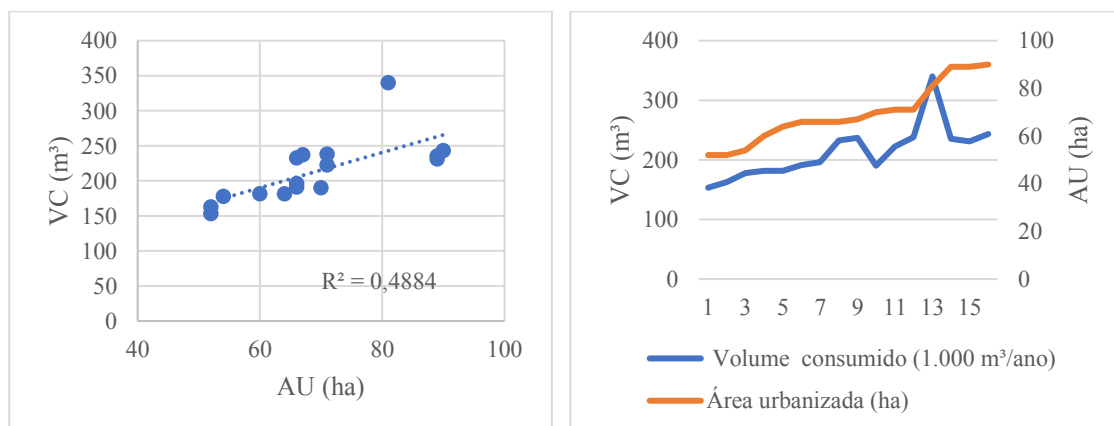
Figura 79 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Casserengue



Fonte: Autoria própria (2022).

Manaíra, São José dos Ramos e Sertãozinho estão inseridos no grupo em que aumentaram todos os indicadores. Manaíra tem correlação positiva de 0,69 em razão do crescimento semelhante da AU e do VC, tendo esse último apresentado poucas oscilações (Figura 80). O município é abastecido pelo açude Catolé I, esse apresenta níveis conforme a normalidade em quase todo o período analisado. Esses fatores justificam as poucas variações no consumo de água.

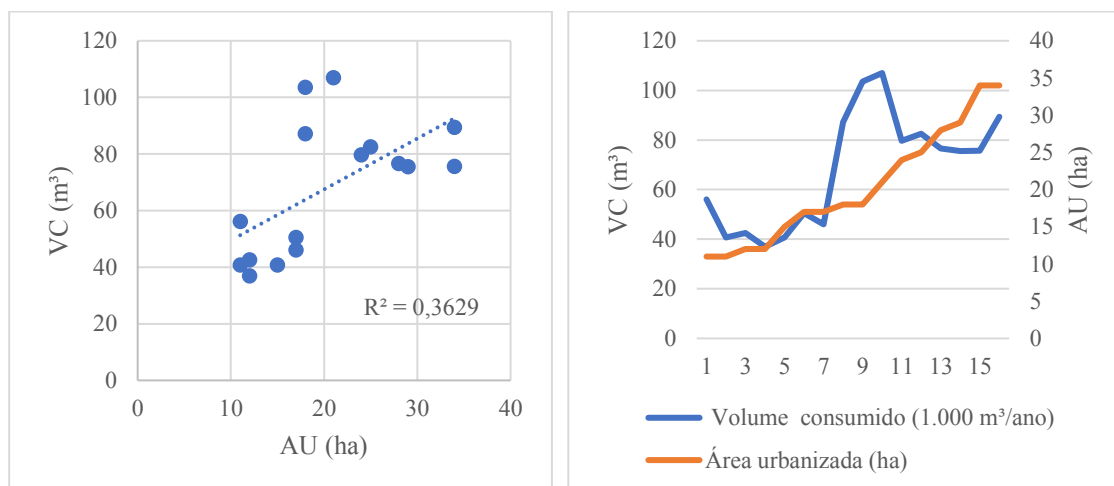
Figura 80 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Manaíra



Fonte: Autoria própria (2022).

São José dos Ramos possui Coeficiente de *Pearson* positivo de 0,6. Isso ocorreu em detrimento da harmonia entre o comportamento das variáveis, porém, o VC apresentou alguns picos, o que impediu uma maior correlação (Figura 81). Esse município é atendido pelo Rio Paraíba que também abastece diversas outras cidades, porém, o que chama atenção é que, apesar da intensa crise hídrica, o VC, no mesmo período, aumentou.

Figura 81 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de São José dos Ramos

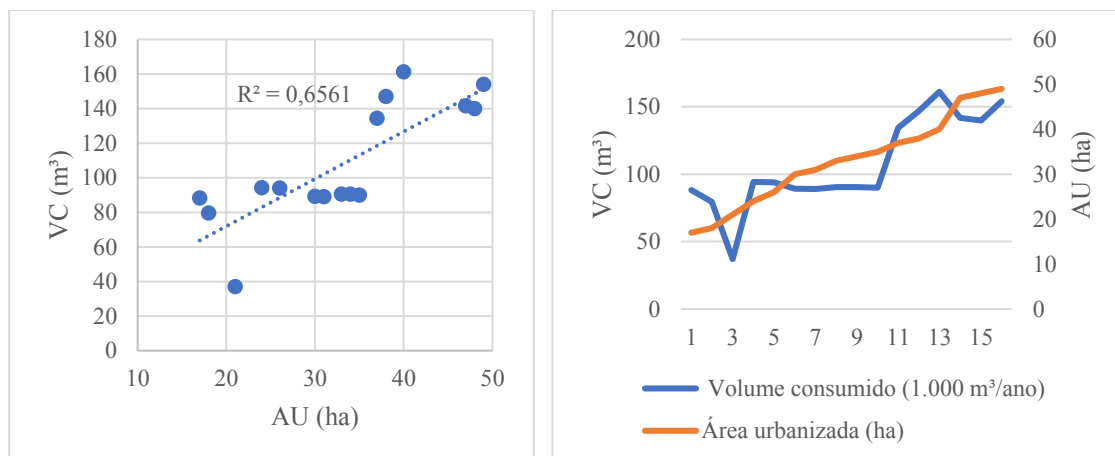


Fonte: Autoria própria (2022).

Sertãozinho apresenta correlação positiva de 0,83. A AU aumentou de forma linear e o VC apresentou períodos de aumento lineares, como também alguns picos, tendo, na maior parte do intervalo analisado, um ano de aumento e dois de decréscimo. Essa progressão peculiar influenciou uma forte correlação (Figura 82).

O município é abastecido por três fontes hídricas: Açudes Duas Estradas, Paredão (Suspiro) e Canafistula I (Pirpirituba). Entre 2005 e 2020 esses reservatórios se comportaram de maneiras diferentes. O açude Duas Estradas apresentou níveis críticos apenas no ano de 2006, nos demais anos, o volume era superior a 20% de sua capacidade máxima. O açude Suspiro apresentou volumes mais baixos entre 2006 e 2010 e após 2016 apresentou picos de acréscimo e decréscimo durante os meses. Por fim, o açude Pirpirituba apresentou volumes mais baixos entre 2016 e 2020, nos demais anos contemplou valores maiores que 60% de sua capacidade total. Os comportamentos em diferentes períodos culminaram em uma disponibilidade hídrica contínua.

Figura 82 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Sertãozinho

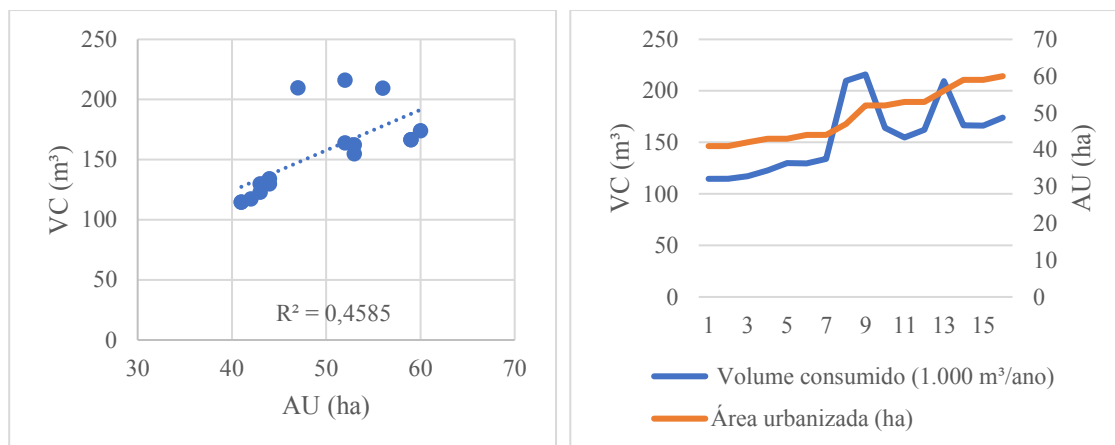


Fonte: Autoria própria (2022).

Olho D'Água, Santana de Mangueira e Serra Grande estão inclusos no grupo que diminuiu a PT, mas aumentou as demais variáveis. Olho D'Água e Santana de Mangueira possuem correlação de 0,67 e 0,75, nessa ordem, devido ao modo parecido de crescimento dos indicadores, que se modificaram de maneira mais constante. Olho D'Água teve três anos de crescimento brusco em seu VC, o que impediu uma maior correlação. Já Santana de Mangueira teve apenas um pico de decréscimo mais acentuado no consumo de água, o que justifica o maior valor do coeficiente, quando comparando-os (Figuras 83 e 84).

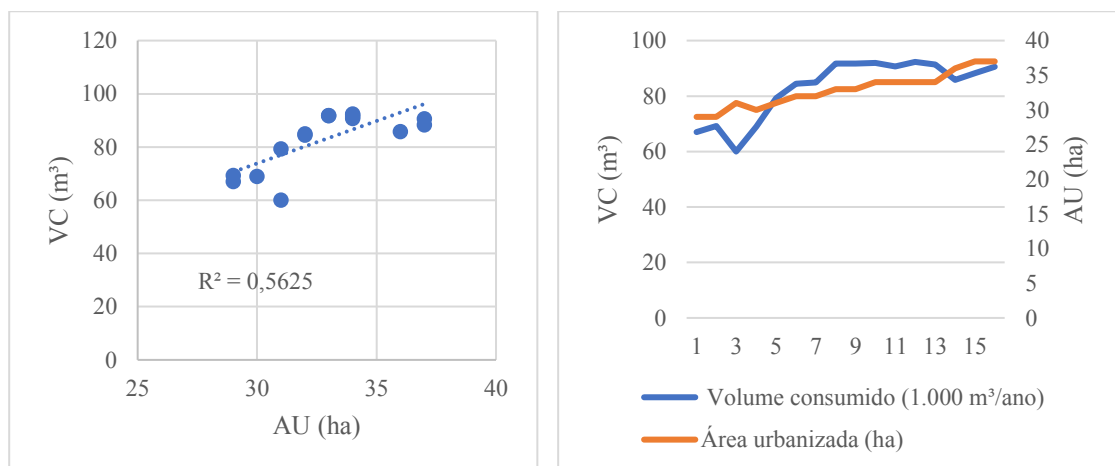
Olho D'Água é abastecido pelo açude Jenipapeiro. Esse, apresentou níveis mais baixos entre 2015 e 2019, mas não atingiu 10% de sua capacidade máxima, o que implicou na quantidade de VC. Santana de Mangueira é atendida pelo açude Poço Redondo que apresenta picos de acréscimo e decréscimo durante todo o intervalo, porém, na maior parte do horizonte temporal, os níveis estão dentro da normalidade, o que justifica o VC mais constante.

Figura 83 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Olho D'Água



Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 84 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Santana de Mangueira

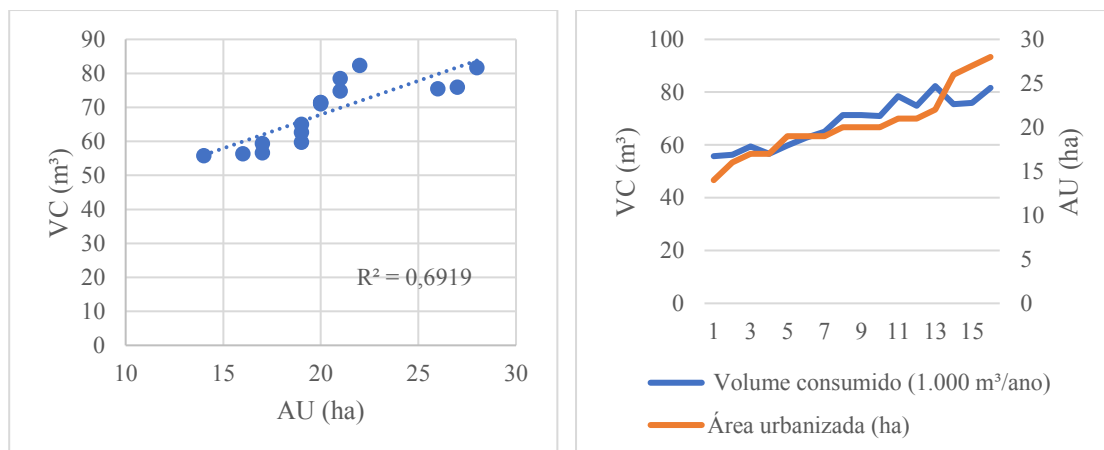


Fonte: Autoria própria (2022).

Serra Grande obteve 0,83 de correlação que pode ser justificado pela maneira de crescimento de ambas as variáveis. A AU desenvolveu-se basicamente de forma linear, enquanto que o VC também cresceu desse modo, entretanto, apresentou pequenas oscilações (Figura 85).

O município é atendido pelo açude Cafundó que apresentou picos de volumes no decorrer dos anos analisados, porém, não atingiu volumes menores que 20% de sua capacidade máxima. Esses fatores justificam o VC mais constante e picos menos acentuados.

Figura 85 - Gráfico de correlação e análise do volume consumido e área urbanizada do município de Serra Grande



Fonte: Autoria própria (2022).

4.2.3 Índice de Expansão de Paisagem (LEI)

Uma vez que a observação por sensoriamento remoto permite a quantificação das áreas urbanizadas ao longo do tempo, e que, a análise de correlação entre volume consumido e aumento da área urbana nem sempre indica uma correlação direta, este índice analisou a *forma* como se deu a expansão urbana nestes municípios. A Tabela 5 apresenta a aplicação do LEI e as análises quantitativas de VC entre os intervalos de 2005 e 2010, 2010 e 2015 e 2015 e 2020. O símbolo de “+” significa aumento e o de “-” significa diminuição.

As tipologias que podem acontecer é a expansão de borda, expansão periférica e o preenchimento. Assim, entende-se que a expansão periférica pode gerar maiores problemas de abastecimento de água em razão da possível busca por novas fontes hídricas, ampliação significativa das redes de infraestrutura ou até mesmo o uso de redes subdimensionadas, que pode desencadear diversos problemas, como pouca pressão no sistema e falta da água nas tubulações.

Por outro lado, a tipologia de preenchimento conduz a interpretação de que diminuirá certos riscos no abastecimento de água em razão do aproveitamento do manancial e das redes de infraestruturas já utilizadas. Entretanto, alguns pontos devem ser levados em consideração, como os novos usos do solo e o efeito destes no consumo de água.

Ainda, a expansão de borda seria o meio termo entre a expansão periférica e o preenchimento, pelo fato de que, o manancial e a rede de distribuição seriam os mesmos,

porém, dependendo da configuração da rede de infraestrutura existente, os pontos de ampliação poderiam ser maiores ou menores, amplos ou pontuais.

Tabela 5 - Aplicação do LEI e análise do volume consumido

MUNICÍPIO	CLASSIFICAÇÃO	VOLUME CONSUMIDO
Água Branca	2005-2010: Expansão de borda e expansão periférica 2010-2015: Preenchimento 2015-2020: Expansão de borda e expansão periférica	2005-2010: +0,79 2010-2015: +8,8 2015-2020: -47,35
Aguiar	2005-2010: Expansão de borda e expansão periférica 2010-2015: Expansão de borda e expansão periférica 2015-2020: Expansão de borda	2005-2010: -61,48 2010-2015: +147,81 2015-2020: +6,49
Alhandra	2005-2010: Expansão de borda, expansão periférica e preenchimento 2010-2015: Expansão periférica, expansão de borda e preenchimento 2015-2020: Preenchimento, expansão de borda e expansão periférica	2005-2010: +31,9 2010-2015: +51,06 2015-2020: -14,43
Areia	2005-2010: Expansão de borda, preenchimento e expansão periférica 2010-2015: Expansão de borda e expansão periférica 2015-2020: Expansão periférica, expansão de borda e preenchimento	2005-2010: -16,41 2010-2015: -24,87 2015-2020: +25,56
Bananeiras	2005-2010: Expansão de borda e preenchimento 2010-2015: Expansão periférica, expansão de borda e preenchimento 2015-2020: Expansão periférica, expansão de borda e preenchimento	2005-2010: -2,54 2010-2015: -71,77 2015-2020: +172,39
Boa Vista	2005-2010: Expansão de borda 2010-2015: Expansão de borda 2015-2020: Expansão de borda, expansão periférica e preenchimento	2005-2010: -0,79 2010-2015: +16,59 2015-2020: +9,01
Bom Sucesso	2005-2010: Expansão de borda 2010-2015: Expansão de borda e expansão periférica 2015-2020: Expansão de borda e expansão periférica	2005-2010: +29,01 2010-2015: -14,12 2015-2020: +10,98
Brejo dos Santos	2005-2010: Expansão de borda e expansão periférica 2010-2015: Expansão de borda e expansão periférica 2015-2020: Expansão de borda, expansão periférica e preenchimento	2005-2010: -21,08 2010-2015: -15,15 2015-2020: +15,98
Cabaceiras	2005-2010: Expansão de borda 2010-2015: Expansão de borda 2015-2020: Expansão de borda, expansão periférica e preenchimento	2005-2010: -11,64 2010-2015: -25,92 2015-2020: -15,44
Caiçara	2005-2010: Expansão de borda 2010-2015: Expansão de borda 2015-2020: Expansão de borda	2005-2010: +6,34 2010-2015: -49,24 2015-2020: +65,9
Cajazeirinhas	2005-2010: Expansão de borda 2010-2015: Expansão de borda 2015-2020: Expansão de borda	2005-2010: +113,46 2010-2015: +42 2015-2020: +7,5
Casserengue	2005-2010: Expansão periférica, expansão de borda e preenchimento 2010-2015: Expansão periférica e expansão de borda 2015-2020: Expansão periférica, expansão de borda e preenchimento	2005-2010: +4,83 2010-2015: -19,17 2015-2020: -20,03
Cruz do Espírito Santo	2005-2010: Expansão de borda e expansão periférica 2010-2015: Expansão de borda, preenchimento e expansão periférica 2015-2020: Expansão periférica, expansão de borda e preenchimento	2005-2010: +11,22 2010-2015: +7,95 2015-2020: -14,62

Tabela 5 - Aplicação do LEI e análise do volume consumido (cont.)

MUNICÍPIO	CLASSIFICAÇÃO	VOLUME CONSUMIDO
Ibiara	2005-2010: Expansão de borda 2010-2015: Expansão de borda 2015-2020: Expansão de borda e expansão periférica	2005-2010: -26,25 2010-2015: +0,48 2015-2020: +18,99
Igaracy	2005-2010: Expansão de borda 2010-2015: Expansão de borda 2015-2020: Preenchimento e expansão periférica	2005-2010: +1,6 2010-2015: +5,89 2015-2020: +19,29
Manaira	2005-2010: Expansão de borda 2010-2015: Expansão de borda 2015-2020: Expansão periférica e preenchimento	2005-2010: +24,63 2010-2015: +16,56 2015-2020: +9,22
Marizópolis	2005-2010: Expansão periférica e expansão de borda 2010-2015: Expansão de borda e expansão periférica 2015-2020: Expansão de borda e expansão periférica	2005-2010: +2875,4 2010-2015: -50,37 2015-2020: +83,75
Natuba	2005-2010: Expansão de borda e expansão periférica 2010-2015: Expansão de borda e preenchimento 2015-2020: Expansão periférica e expansão de borda	2005-2010: -20,5 2010-2015: -42,09 2015-2020: +39,76
Nova Olinda	2005-2010: Expansão de borda 2010-2015: Expansão de borda 2015-2020: Expansão de borda	2005-2010: +14,87 2010-2015: -7,23 2015-2020: +6,94
Olho D'Água	2005-2010: Expansão de borda 2010-2015: Expansão de borda 2015-2020: Expansão de borda e preenchimento	2005-2010: +13,14 2010-2015: +19,43 2015-2020: +12,31
Pedra Lavrada	2005-2010: Expansão de borda e expansão periférica 2010-2015: Expansão de borda e preenchimento 2015-2020: Expansão de borda	2005-2010: -20,87 2010-2015: -6,74 2015-2020: -8,29
Santana de Mangueira	2005-2010: Expansão de borda 2010-2015: Expansão de borda 2015-2020: Expansão de borda	2005-2010: +25,98 2010-2015: +7,39 2015-2020: -0,14
São Bento	2005-2010: Expansão periférica, expansão de borda e preenchimento 2010-2015: Expansão de borda, expansão periférica e preenchimento 2015-2020: Expansão periférica, expansão de borda e preenchimento	2005-2010: -26,6 2010-2015: +14,81 2015-2020: +14,64
São José de Piranhas	2005-2010: Expansão de borda e preenchimento 2010-2015: Expansão periférica, expansão de borda e preenchimento 2015-2020: Expansão periférica e expansão de borda	2005-2010: +19,82 2010-2015: +5,36 2015-2020: +7,44
São José do Bonfim	2005-2010: Expansão de borda 2010-2015: Expansão de borda 2015-2020: Expansão periférica e preenchimento	2005-2010: +50,33 2010-2015: +43,89 2015-2020: +8,28
São José dos Ramos	2005-2010: Expansão periférica e expansão de borda 2010-2015: Expansão periférica e expansão de borda 2015-2020: Expansão periférica e expansão de borda	2005-2010: -10,07 2010-2015: +57,89 2015-2020: +12,2
Serra Grande	2005-2010: Expansão de borda 2010-2015: Expansão de borda 2015-2020: Preenchimento	2005-2010: +12,39 2010-2015: +25,27 2015-2020: +4,03
Sertãozinho	2005-2010: Expansão de borda e preenchimento 2010-2015: Expansão de borda e preenchimento 2015-2020: Preenchimento	2005-2010: +1,13 2010-2015: +50,54 2015-2020: +14,66
Solânea	2005-2010: Expansão periférica e expansão de borda 2010-2015: Expansão periférica e expansão de borda 2015-2020: Expansão periférica e expansão de borda	2005-2010: +13,29 2010-2015: -50,34 2015-2020: +54,12

Fonte: Autoria própria (2022).

Dessa maneira, observa-se que o tipo de crescimento que mais aconteceu nos municípios entre os intervalos analisados foi a *expansão de borda*, contemplando 51,87% do total da análise. Em segundo lugar, a *expansão periférica* ocorreu em um pouco mais da metade dos municípios em que a expansão de borda também ocorreu, representando 28,76% dos resultados encontrados. Por fim, o tipo de crescimento urbano que menos foi verificado, é o *preenchimento*, desenvolvendo-se apenas 31 vezes, o que equivale a menos de 20% da apuração completa dos dados.

Nota-se que as cidades crescem de maneiras diferentes dentro de um mesmo intervalo de tempo, ocorrendo geralmente dois tipos de expansão por vez. As tipologias que mais ocorreram simultaneamente foi a expansão de borda e a expansão periférica. Enquanto que o preenchimento ocorreu mais vezes quando as três tipologias aconteceram.

Analisando em conjunto com o volume consumido, percebe-se que a expansão de borda, conseqüentemente, também é a tipologia que mais ocorre, tanto em relação ao acréscimo quanto ao decréscimo do consumo de água, apontando 51 vezes no aumento e 30 vezes na diminuição. Ou seja, não parece haver uma relação direta no espraiamento da mancha urbana e seu aumento e diminuição do consumo, pelo menos nos municípios analisados.

Em seguida, a expansão periférica aparece, também, em ambos os aspectos de progressão, contemplando 27 vezes o crescimento e 19 vezes o decréscimo do volume consumido. Por fim, o tipo de desenvolvimento urbano de preenchimento é o que menos aparece nos dois casos de evolução, abrangendo 21 vezes no crescimento e 10 vezes na redução do consumo de água dos municípios. Este fato pode ser justificado pela resolução dos produtos MapBiomas que se baseiam em imagens de satélite com 30 metros de resolução. As imagens referentes às áreas classificadas como urbanizadas podem não permitir a identificação de pequenos vazios urbanos e sua conseqüente ocupação ao longo do tempo.

Assim, constata-se que não há como estabelecer correlações diretas entre a forma como os municípios desenvolveram e consolidaram suas áreas urbanas com as oscilações do volume consumido durante os intervalos analisados. Entretanto é notório que na grande maioria dos municípios a infraestrutura de rede de abastecimento deve ter seguido uma tendência de expansão uma vez que muitos destes municípios cresceram por expansão de borda e periférica, o que normalmente implica em áreas anteriormente desprovidas de infraestrutura agora ocupadas e demandando expansão das redes. Porém, nestes municípios estudados não houve o atendimento da ampliação do sistema de

distribuição por rede de forma eficaz, tendo em vista que todos os municípios relataram problemas quanto ao abastecimento de água, principalmente no que se refere a intermitência do atendimento devido ao subdimensionamento e pouca pressão dos sistemas.

4.3 CENÁRIOS FUTUROS

Foram realizados cenários preditivos para os dados quantitativos de área urbanizada e volume consumido de água usando os dados de série histórica para cada município provenientes do MapBiomass e do SNIS, respectivamente. Essas informações de predição são fundamentais para o planejamento urbano e a gestão hídrica das cidades, podendo ser utilizadas para tomada de decisão e como base para mitigação de problemáticas. Os prognósticos do volume consumido estão $1000.m^3/ano$ (um mil metros cúbicos por ano) e da área urbanizada em hectare (ha).

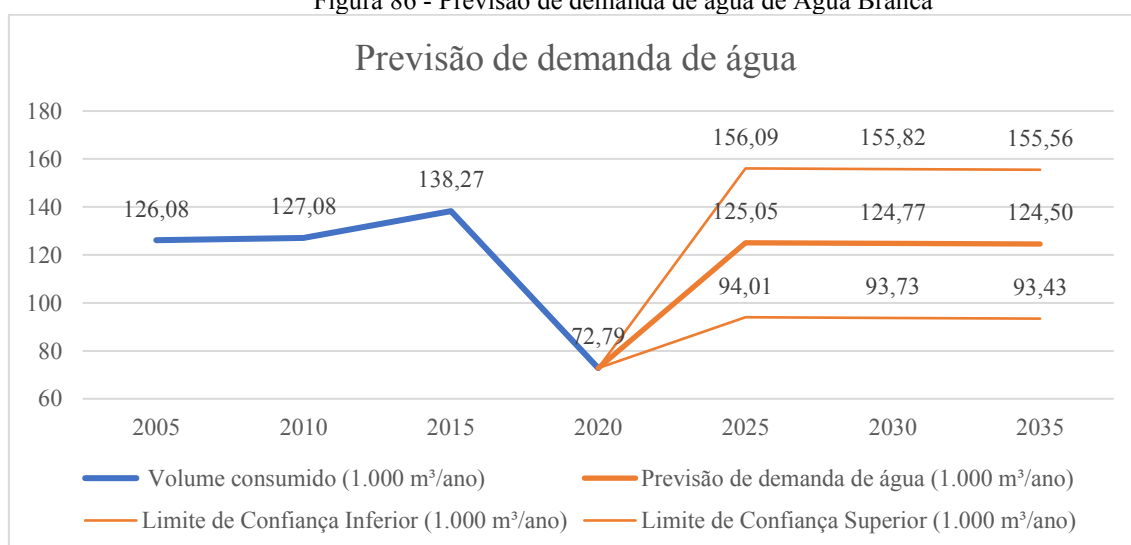
Como mencionado no Capítulo 3, o método adotado para esta análise preditiva foi a Suavização Exponencial Tripla, disponível no software Excel. Os métodos estatísticos com suavização dupla ou tripla são amplamente utilizados para modelar tendências significativas em dados não estacionários. Neste estudo não houve comparação de resultados gerados por diferentes métodos, o que poderia subsidiar uma melhor escolha e aumentar a assertividade da previsão. Entretanto para uma visualização de possíveis correlações entre as previsões de crescimento urbano (área de infraestrutura construída) e demanda de água, entende-se que as previsões aqui apresentadas cumprem seu papel.

As previsões foram calculadas para todos os 29 municípios para as duas variáveis (área e demanda por água potável), mas são apresentados a seguir os gráficos referentes às previsões calculadas para o município de Água Branca (Figuras 86 e 87), sendo as demais previsões apresentadas no Apêndice A deste estudo (Figuras 88 a 143). Destaca-se que para os municípios que obtiveram correlação *muito fraca* e *fraca* foram retirados os pontos de picos de acréscimo e decréscimo do volume consumido para a realização da previsão de demanda de água. Esses pontos são pontos fora da curva que não retratam a normalidade desses municípios, dessa forma, usando-os não seriam feitos prognósticos realistas.

Embora em nenhum dos 29 municípios tenha sido possível a observação de uma relação direta entre a expansão urbana e o consumo de água, principalmente por causa dos problemas já apontados anteriormente (informações de volume consumido não notificadas nas bases oficiais, crise hídrica, etc), percebe-se em todos os municípios, ao

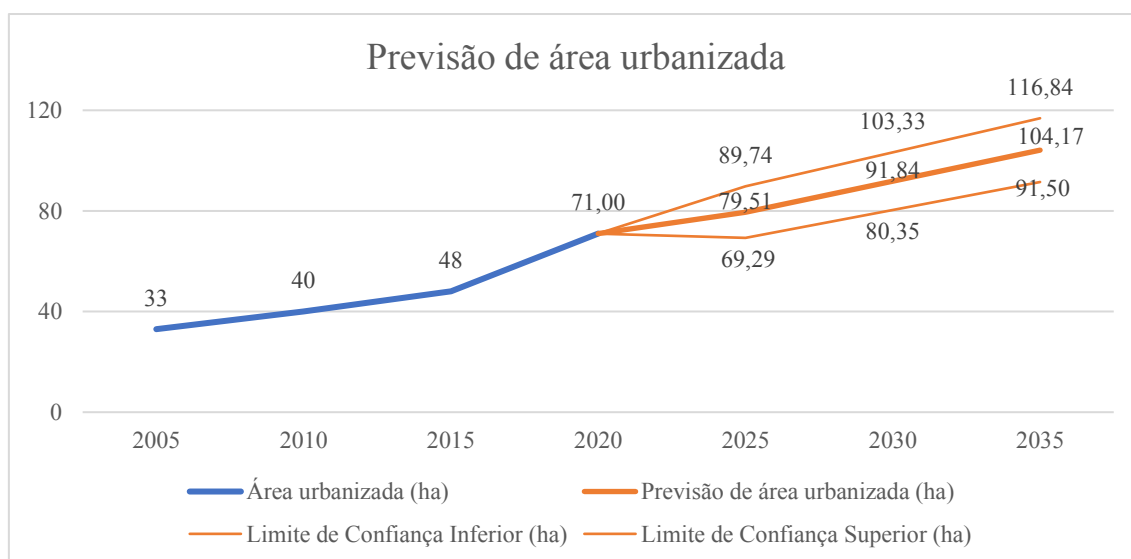
observar-se a tendência histórica, uma tendência positiva de crescimento para ambas as variáveis. A gestão da demanda de água certamente que pode se beneficiar de estudos preditivos, assim como a gestão urbana. E é esperado que a expansão urbana terá rebatimentos na expansão da infraestrutura hídrica para o abastecimento de água destas áreas de expansão, assim como o disciplinamento do uso do solo pode ser, em alguns casos, orientado e limitado pela disponibilidade de água. Mesmo no semiárido, não há como continuar imaginando o crescimento e o desenvolvimento de cidades baseado em soluções emergenciais de abastecimento humano como os carro-pipa.

Figura 86 - Previsão de demanda de água de Água Branca



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 87 - Previsão da área urbanizada de Água Branca



Fonte: Autoria própria (2023).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, observou-se que o desenvolvimento das cidades de pequeno porte difere em alguns fatores do desenvolvimento da maioria das grandes metrópoles ou até mesmo de cidades de médio porte. Por mais que em todos os municípios, a expansão do território urbano tenha acontecido, assim como normalmente ocorre nos grandes centros, as variáveis população, população abastecida de água e o volume consumido alteraram-se de forma muito independente a partir dos dados observados.

Assim, mesmo crescendo a população total e atendida, alguns municípios diminuíram o consumo de água, sendo esse, muitas vezes, atrelado a falta do recurso hídrico em um certo momento da história, ou seja, um panorama que, caso não tivesse acontecido a crise hídrica, talvez o cenário fosse diferente. Quanto a diminuição da população total, esta pode estar relacionada à procura da sociedade por melhores condições de vida, o que, muitas vezes, pequenos municípios não proporcionam, quando comparado aos maiores. O decréscimo da quantidade da população atendida acontece, em sua maioria, por causa da infraestrutura da rede de distribuição, que quase sempre, possui defasagens em suas estruturas e tubulações antigas com diâmetros inadequados, não conseguindo ter pressão e vencer os pontos mais altos e mais afastados, sendo esses pontos, consequências do espraiamento da mancha urbana.

A partir das ricas observações em campo relatadas no Produto C dos Planos Municipais de Saneamento Básico da Paraíba e ciência cidadã, percebe-se que cada município possui peculiaridades e características próprias, diferindo um dos outros. Entretanto, identifica-se que as oscilações do volume consumido da maioria das cidades decorreram da crise hídrica que o semiárido passou. Esta constatação deve-se principalmente ao fato de apenas 2 dos 29 municípios estudados (Cruz do Espírito Santo e Alhandra) não estão localizados nessa região. Ou seja, baixa disponibilidade hídrica provoca maior intermitência dos serviços, o que ocasiona um comportamento mais racional do consumo quando há a oferta da água. E, ao longo da série, a crise hídrica reflete-se numa diminuição do volume consumido.

Os picos repentinos e acentuados, isto é, os pontos fora da curva foram o principal motivo das dificuldades de correlação entre o volume consumido e a área urbanizada, tendo em vista que essa última cresceu de forma mais linear e contínua, enquanto que o consumo de água alterou-se bastante em decorrência de sua insuficiência e volta da normalidade quanto a capacidade de reserva devido ao evento extremo de seca prolongada. Essa desconformidade fez com que os pontos se formassem mais distante da linha de tendência, o que ocasiona uma menor associação. Assim, por causa desses pontos fora da curva, essa ferramenta não pôde identificar uma relação realista. Dessa forma, sugere-se aos futuros estudos que as correlações sejam feitas em intervalos que retratem os cenários de normalidade, para que não haja resultados parciais, assim como os desta pesquisa.

Apesar de todas as problemáticas com o abastecimento de água, as cidades cresceram e desenvolveram-se, sendo o principal influenciador o fator econômico seguido do desenvolvimento social. Destaca-se que o carro-pipa foi crucial para a expansão dos municípios, suprindo a população nas intermitências do atendimento por rede geral e nas épocas de crise hídrica.

Com a aplicação de uma metodologia de análise morfológica da expansão urbana (LEI), conclui-se que os municípios podem crescer com tipologias diferentes em um mesmo período de tempo impulsionados por motivos muito diversos e peculiares. Ademais, quando analisando com a variável quantitativa de volume consumido, observa-se que não há padrões estabelecidos, as variáveis alteram-se de maneira independente ou pelo menos, são necessários mais informações e bancos de dados mais robustos para que esta relação seja explicitada. Dessa maneira, faz-se necessário estudar a aplicação do LEI juntamente com outros dados de consumo de água com o intuito de identificar padrões e relações possíveis.

A análise de tendência dos municípios e os prognósticos de volume consumido e área urbanizada podem auxiliar os gestores locais quanto ao estabelecimento de metas para investimentos em infraestrutura capaz de suportar as demandas de água da população e acompanhar o espraiamento da mancha urbana. Embora tenha-se divergências no desenvolvimento dos municípios de pequeno porte quando comparado aos grandes centros, foi possível perceber através desse estudo, quão crescentes estão as demandas de água para o futuro, já que quanto maior o contingente populacional urbano, maiores são as demandas independente da configuração dos aglomerados.

Ainda, acredita-se que os resultados gerados nesta pesquisa possam contribuir para a gestão dos recursos hídricos e o planejamento das cidades, fornecendo uma análise mais geral de pequenos municípios capaz de auxiliar os planejadores e tomadores de decisão na mitigação das problemáticas de insegurança hídrica das futuras gerações. Cenários preditivos de gestão são fundamentais para suprir a sustentabilidade das gerações posteriores, sendo os planos de monitoramento e as avaliações preditivas dos fenômenos que impactam os recursos hídricos necessárias para garantir que as decisões se baseiem em informações sólidas.

Sugere-se ainda as futuras pesquisas, analisar os municípios de forma mais individual e com maiores detalhes utilizando-se de bancos de dados mais robustos, buscando encontrar similaridades na questão da identificação das alterações no uso e ocupação do solo e dos padrões de variação de consumo. Além disso, aplicar metodologias que expliquem os prognósticos a partir de modelagens espaço-temporais como forma de melhor visualização do crescimento urbano das cidades e suas peculiaridades para que as previsões por métodos estatísticos possam refletir melhor as relações intrínsecas entre água e cidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). **Últimos volumes informados dos açudes**. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/monitoramento/ultimos-volumes/>>. Acesso: Janeiro de 2023.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2021: Relatório Pleno**. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Brasília: ANA, 2022. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_2021_pdf_final_revdirec.pdf>. Acesso em: Janeiro de 2023.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019. 75 p.: il. ISBN: 978-85-8210-057-8 1.

ALMEIDA, D. N. O. *et al.* Uso e cobertura do solo utilizando geoprocessamento em municípios do Agreste de Pernambuco. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.4, n.1. 058-068 (2018).

ALMINO, L. M. O.; RUFINO, I. A. A. Modelagem dinâmica e cenários urbanos de demanda de água: simulações em Campina Grande (PB). **Eng Sanit Ambient**. V.26 n.5, 2021, p. 915-925.

BASSANI, J. H. **Tecnologias alternativas de drenagem urbana aplicáveis às cidades de pequeno porte**. Dissertação de mestrado (Faculdade de Engenharia e Arquitetura da Universidade de Passo Fundo). Passo Fundo, 2013.

BECKER, C. T. et al. Caracterização Climática das Regiões Pluviometricamente Homogêneas do Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 2, p. 286–299, 2011.

BRASIL. **Lei no 14.026, de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000. Brasília: Presidência da República, 2020a. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm>. Acesso: Março de 2022.

BRITO, F.; HORTA, C. J. G.; AMARAL, E. F. L. A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas. **Open Science Framework Preprints**, 2018.

BRITO, H. C. **Recursos hídricos e impactos antrópicos no Semiárido Brasileiro: Dinâmica espaço temporal e cenários preditivos**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2021.

BORGES, V. M. N. A. **Acoplamento de um modelo de previsão de demanda de água a um modelo simulador em tempo real – estudo de caso: Sistema adutor metropolitano de São Paulo**. Dissertação de mestrado – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

BOSCAGLIA, F. **Dinâmica populacional e consumo de água na Serra-ES: Panorama atual e cenário futuro**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal Do Espírito Santo. Vitória, 2013.

BOUZIOTAS, D.; ROZOS, E.; MAKROPOULOS, C. Water and the city: exploring links between urban growth and water demand management. **Journal of Hydroinformatics** (2015) 17 (2): 176–192.

BRASIL. **Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020**. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras atribuições. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm>. Acesso: Janeiro de 2023.

CAO S. *et al.* The Educational Level of Rural Labor, Population Urbanization, and Sustainable Economic Growth in China. **Sustainability**, 2020, 12, 4860.

CARVALHO, M. B. **A estrutura e a infraestrutura: Análise da relação entre o desenvolvimento do sistema de abastecimento de água e a estrutura intraurbana de Campina Grande – PB**. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2020.

CASTRO, C. N. **Avaliação do programa nacional de apoio à captação de água de chuva e outras tecnologias sociais (programa cisternas), à luz dos objetivos de desenvolvimento sustentável**. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea): Rio de Janeiro, 2021.

CRISTÓVÃO, E. E. M. **Dinâmica da cobertura vegetal e uso da terra no município de Salvaterra, Ilha do Marajó**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2021.

COELHO, C. F.; REINHARDT, H.; ARAÚJO, J. C. Fossa verde como componente de saneamento rural para a região semiárida do Brasil. **Eng Sanit Ambient**, v.23 n.4, 2018, p. 801-810.

COSTA, C. M. F. **Desenvolvimento de Modelos de Previsão de Variáveis Climáticas**. Tese de Mestrado - Universidade do Minho (Escola de Ciências), 2019.

DADASHPOOR H. *et al.* Land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area. **Science of The Total Environment**, v. 655, p. 707-719, 2019.

DIAS, S. S.; LASCHEFSKI, K. Conflitos ambientais e gestão da água: problemas de abastecimento, urbanização e mineração em Viçosa, MG. **Boletim de geografia**, v. 37, n. 3, p. 105 -122 Maringá, 2019.

EHRlich, D. *et al.* Built-up area and population density: Two Essential Societal Variables to address climate hazard impact. **Environmental Science & Policy**, v. 90, 2018, p 73-82.

EHRlich, D. *et al.* Open and Consistent Geospatial Data on Population Density, Built-Up and Settlements to Analyse Human Presence. Societal Impact and Sustainability: A Review of GHSL Applications. **Sustainability**, 2021, 13(14), 7851.

ESTEVES, A. G. L. **Reconhecimento de padrões de crescimento urbano em imagens de satélite utilizando aprendizagem profunda e teoria dos valores extremos.** Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2022.

European Commission. **GHSL – Global Human Settlement Layer: Open and free data and tools for assessing the human presence on the planet.** Disponível em: <<https://ghsl.jrc.ec.europa.eu/index.php>>. Acesso: Março de 2022.

FARHAN, S. L.; HASHIM, I. A. J.; NAJI, A. A. The Sustainable House: Comparative Analysis of Houses in Al Kut Neighborhoods-Iraq. **Developments in eSystems Engineering (DeSE)**, 2019, p. 1031-1036.

FILHO, R. S. R. **Cenários de projeção do risco a inundações no Estado da Paraíba.** Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2022.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto.** 3º edição ampliada e atual. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto em agricultura.** 1º edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

Fraisl, D. *et al.* Mapeando as contribuições da ciência cidadã para os objetivos de desenvolvimento sustentável da ONU. **Sustain Sci**, 15, 1735–1751 (2020).

FRANCISCO, P. R. M. **Classificação e mapeamento das terras para mecanização agrícola do Estado da Paraíba utilizando sistema de informações geográficas.** Dissertação de mestrado - Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.

FURLONG, C. *et al.* Developing a water infrastructure planning framework for the complex modern planning environment. **Utilities Policy**, v. 38, p. 1–10, 2016.

GARCIA, R. C.; ARAUJO, R. C. Uso de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para estimativa de áreas vegetadas e não vegetadas nos bairros de maior crescimento em São Luís – MA, durante os anos de 2000 e 2010. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, 2021.

GOMES, J. V. P.; CUBAS, M. G. **Fundamentos do sensoriamento remoto.** 1º edição. Curitiba: InterSaberes, 2021.

GHOSH, R.; KANSAL, A.; VENKATESH, G. Urban Water Security Assessment Using an Integrated Metabolism Approach—Case Study of the National Capital Territory of Delhi in India. **Resources**, v. 8, n. 2, p. 62, 2019.

Governo Federal. **SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS**. Série histórica. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso: Março de 2022.

Governo do Estado da Paraíba. **ATUALIZAÇÃO DO PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS DA PARAÍBA - PERH/PB-2020**. Relatório Parcial (RP04). Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/wp-content/uploads/2021/09/RP-03-PERH-PB.pdf>>. Acesso: Março de 2022.

GRIMM, N. B. et al. Global change and the ecology of cities. **Science**, v. 319, n. 5864, p. 756–760, 2008.

HEIDARI, H.; ARABI, M.; WARZINIACK, T.; SHARVELLE S. (2021) Effects of Urban Development Patterns on Municipal Water Shortage. **Front. Water**, 2021, v. 3, 694817.

HERRERA, M. *et al.* Predictive models for forecasting hourly urban water demand. **Journal of Hydrology**, volume 387, Issues 1–2, 2010, pages 141-150.

HUANG, Z. *et al.* Analysis of driving forces of water demand in Jing-Jin-Ji district in recent years based on water demand field theory. **SCIENCE CHINA (Technological Sciences)**. Vol.63, No.12: 2593–2605, 2020.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico (2010)**. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>>. Acesso: Janeiro de 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico do estado da Paraíba, 2010**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/panorama>. Acesso: Janeiro de 2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativas da População (2021)**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?=&t=resultados>>. Acesso: Janeiro de 2023.

JAPIASSÚ, L. A. T.; LINS, R. D. B. The different forms of urban expansion. **Revista Nacional do Gerenciamento de Cidades**, v. 2, n. 13, p. 15–25, 2014.

JIAO, L; MAO, L.; LIU, Y. Multi-order Landscape Expansion Index: Characterizing urban expansion dynamics. **Landscape and Urban Planning**, v. 137, 2015, pages 30-39.

JUNIOR, R. F. B.; SANTOS, M. J. **A urbanização das cidades**. In: III Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento - Universidade de Taubaté. São Paulo, 2014.

KANDISSOUNON, G. A.; KALRA, A.; AHMAD, S. Integrating System Dynamics and Remote Sensing to Estimate Future Water Usage and Average Surface Runoff in Lagos, Nigeria. **Civil Engineering Journal**, v. 4, n. 2, p. 378, 2018.

KUANG, W. *et al.* A comparative analysis of megacity expansions in China and the U.S.: Patterns, rates and driving forces. **Landscape and Urban Planning**, v. 132, p. 121-135, 2014.

KUSTERKO, Sheila; ENSSLIN, Sandra Rolim; ENSSLIN, Leonardo; CHAVES, Leonardo Corrêa. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista. **Eng Sanit Ambient**, v. 23, n. 3, 2018.

LEONARDI, I. R. **Geoprocessamento e sensoriamento remoto para recursos hídricos**. Curitiba: Contentus, 2020.

LEVIN, J.; FOX, J. A. **Estatística para ciências humanas**. 9ª edição. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

LIANG, W.; YANG, M. Urbanization, economic growth and environmental pollution: Evidence from China. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, v. 21, p. 1–9, 2019.

LINS, G. M. L. **Análise de variáveis determinantes no consumo urbano de água de uso doméstico na cidade de Campina Grande - PB**. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2011.

LI, S. *et al.* Impacts of Land-Use and Land-Cover Changes on Water Yield: A Case Study in Jing-Jin-Ji, China. **Sustainability**, 2018, 10(4), 960.

LI, W. *et al.* Does urbanization intensify regional water scarcity? Evidence and implications from a megaregion of china. **Journal of Cleaner Production**, volume 244, 2020, 118592.

LI, X.; ZHOU, W.; OUYANG, Z. Forty years of urban expansion in Beijing: What is the relative importance of physical, socioeconomic, and neighborhood factors? **Applied Geography**, v. 38, p 1-10, 2013.

LIU, F. *et al.* Accuracy assessment of Global Human Settlement Layer (GHSL) built-up products over China. **PLoS ONE**, 15(5): e0233164, 2020.

LIU, X. *et al.* Um novo índice de paisagem para quantificar a expansão urbana usando dados multitemporais de sensoriamento remoto. **Paisagem Ecol**, 25 , 671-682 (2010).

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.

LIU, Z.; WU, J. *Landscape-based solutions are needed for meeting water challenges of China's expanding and thirsty cities*. **Landsc Ecol**, 2022, 37, 2729–2733.

MA, H.; SUN, J. The influence of LUCC on water demand in the north slope of Tianshan Mountain. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 560, p. 012079, 2020.

MapBiomas Brasil. **Descrição da legenda Coleção 7.0.** Disponível em: <https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/downloads/Legenda_Cole%C3%A7%C3%A3o_7_-_Descri%C3%A7%C3%A3o_Detalhada_-_PDF_PT.pdf>. Acesso: Janeiro de 2023.

MARTINS, C. M. T. *et al.* **Hidrologia urbana: Conceitos básicos.** Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (Universidade de Coimbra). Lisboa, 2010.

MARTINS, D. G. M.; CABRAL, E. H. S. Panorama dos principais estudos sobre ciência cidadã. **ForScience**, v. 9, n. 2, 2021.

MATOS, J. C. C. T. **Proposição de método para a definição de cotas per capita mínimas de água para consumo humano.** Brasília: UnB, 2007. Dissertação de mestrado – Universidade de Brasília, DF, 2007.

MCDONALD, R. I. *et al.* Research gaps in knowledge of the impact of urban growth on biodiversity. **Nature Sustainability**, v. 3, p. 16–24, 2020.

MCDONALD, Robert I.; KAREIVA, Peter; FORMAN, Richard. The implications of current and future urbanization for global protected areas and biodiversity conservation. **Biological Conservation**. Volume 141, Issue 6, 2008, p. 1695-1703.

MCKINNEY, Michael L. Urbanization, Biodiversity, and Conservation. **BioScience**. Vol. 52, No. 10, 2002.

Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). **Saneamento: SNIS (2022).** Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis>>. Acesso: Janeiro de 2023.

MIRANDA, D. T.; DECESARO, G. D. Os impactos e as consequências gerados pela urbanização acelerada às águas urbanas. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**. Paraná, 2018.

NASCIMENTO, F. C. A. *et al.* Análise das mudanças ambientais provocadas pela expansão urbana na cidade de Mossoró-RN, através do uso de técnicas de Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 7, n. 4 (2014), p. 636-642.

NETO, Antonio Firmino. **Mensuração da eficiência da gestão municipal através da análise multivariada – Regressão Linear Múltipla: Um estudo dos municípios do Estado da Paraíba.** Dissertação de mestrado (Universidade Federal de Pernambuco). Recife, 2010.

NUNES, D. M. **Gestão das Águas Pluviais Urbanas e Elementos da Infraestrutura Verde: Estudo de Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Morto, Rio de Janeiro.** Dissertação de mestrado – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.

ODAN, F. K. **Estudo de confiabilidade aplicado a otimização da operação em tempo real de redes de abastecimento.** Tese de doutorado – Universidade de São Paulo. São Carlos, 2013.

OLIVEIRA, L. M. *et al.* Forecasting Urban Water Demand Using Cellular Automata. **Water**, v. 12, n. 7, p. 2038, 2020.

OLIVEIRA, L. M. **Modelagem dinâmica e cenários urbanos de demanda de água: simulações em Campina Grande – PB**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Campina Grande, 2019.

OMURAKUNOVA G. *et al.* Expansion of impervious surfaces and their driving forces in highly urbanized cities in Kyrgyzstan. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, 2020, 17 (1), 362.

OYEBODE, O.; IGHRAVWE, D. E. Urban Water Demand Forecasting: A Comparative Evaluation of Conventional and Soft Computing Techniques. **Resources**, 2019, 8(3), 156.

PAIVA, A. C. E. *et al.* Urban expansion and its impact on water security: The case of the Paraíba do Sul River Basin, São Paulo, Brazil. **Science of the Total Environment**, v 720 (2020).

PARRA, H. Z. M. Ciência cidadã: modos de participação e ativismo informacional. *In*: ALBAGLI, S.; MACIEL, M. L.; ABDO, A. H. **Ciência aberta, questões abertas**. Rio de Janeiro: UNIRIO, 2015.

PEDRO, J.; SILVA, C.; PINHEIRO, M. D. Integrating GIS spatial dimension into BREEAM communities sustainability assessment to support urban planning policies, Lisbon case study. **Land Use Policy**, volume 83, April 2019, Pages 424-434.

PMSB. **Plano Municipal de Saneamento Básico da Paraíba: Produtos A e B (Atividades iniciais, estratégia de mobilização, participação social e comunicação)**. 2020. Disponível em: <<https://pmsb-funasa.uaec.ufcg.edu.br/index.php/municipios>>. Acesso: Janeiro de 2023.

PMSB. **Plano Municipal de Saneamento Básico da Paraíba: Produto C (Diagnóstico Técnico-Participativo)**. 2021. Disponível em: <<https://pmsb-funasa.uaec.ufcg.edu.br/index.php/municipios>>. Acesso: Janeiro de 2023.

PNAD. **Pesquisa Nacional por Amostras de Domicílios**. 2015. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/trabalhoerendimento/pnad2015/default.shtm>>. Acesso: Fevereiro de 2022.

QGIS Geographic Information System. Versão 3.22.7. [S.I.]: Open Source Geospatial Foundation Project, 2023. Disponível em: <<http://qgis.osgeo.org>>.

REIS, R. B. *et al.* A inserção da rodovia Via Rápida (SC 446) e os desafios da expansão urbana e de proteção ambiental entre Içara e Criciúma/SC. **Research, Society and Development**, v. 9, n.2, 2020.

RIBEIRO, Márcia Maria Rios; VIEIRA, Zédna Mara Castro Lucena. A gestão de recursos hídricos no Estado da Paraíba: Aspectos legais e institucionais. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. São Paulo, 2007.

RITZMAN, L.; KRAJEWSKI, L. **Administração da produção e operações**. São Paulo: Prentice Hall, 2004.

RODRIGUES, R. B. *et al.* Análise temporal e quantificação da expansão urbana em função do crescimento do agronegócio no município de Conceição das Alagoas/MG. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 16, n. 4, 2020.

ROSA, M.; SHIMBO, J. Z.; AZEVEDO, T. MapBiomas - Mapeando as transformações do território brasileiro nas últimas três décadas. In: **VIII Simpósio de Restauração Ecológica: Desafio do processo frente à crise ambiental**, 2019.

ROSA, R. **Análise Espacial em Geografia**. Revista da ANPEGE, v.7, n.1, número especial, p. 275 - 289, 2011.

ROSSETTI, L. A. F. G.; ALMEIDA, C. M.; PINTO, S. A. F. Análise de mudanças no uso do solo urbano e rural com a aplicação de modelagem dinâmica espacial. In: **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, p. 6316–6323, 2013.

Rubiera-Morollón, F.; Garrido-Yserte, R. Recent Literature about Urban Sprawl: A Renewed Relevance of the Phenomenon from the Perspective of Environmental Sustainability. **Sustainability**, 2020, 12, 6551.

RUFINO, I. *et al.* Multi-Temporal Built-Up Grids of Brazilian Cities: How Trends and Dynamic Modelling Could Help on Resilience Challenges? **Sustainability**, 2021, 13, 748.

RUFINO, I. A. A; SILVA, S. T. Análise das relações entre dinâmica populacional, clima e vetores de mudança no Semiárido Brasileiro: Uma abordagem metodológica. **Bol. Ciênc. Geod.**, v. 23, n. 1, p.166 - 181, 2017.

SANCHEZ, A. *et al.* An integrated cellular automata evolutionary based approach for evaluating future scenarios and the expansion of urban drainage networks. **Journal of Hydroinformatics**, v. 16, n. 2, p. 319–340, 2014.

SANTOS, Ana Silvia Pereira; VIEIRA, José Manuel Pereira. Reuso de água para o desenvolvimento sustentável: aspectos de regulamentação no Brasil e em Portugal. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, v. 8, n. 1, p. 50-68, 2020.

SANTOS, C. A. G.; BRASIL NETO, R. M.; SILVA, R. M.; SANTOS, D. C. Innovative approach for geospatial drought severity classification: a case study of paraíba state, Brazil. **Stochastic Environmental Research And Risk Assessment**, v. 33, n. 2, p. 545-562, 2019.

SANTOS, K. A.; RUFINO, I. A. A.; FILHO, M. N. M. B. Impactos da ocupação urbana na permeabilidade do solo: o caso de uma área de urbanização consolidada em Campina Grande – PB. **Eng Sanit Ambient**. V. 22, n.5, 2017, p. 943-952.

SANTOS, Milton. **A urbanização brasileira**. 5 ed., 1 reimpr. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

SAUSEN, T. M.; LACRUZ, M. S P. **Sensoriamento remoto para desastres**. 1º edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.

SETO K. C.; FRAGKIAS, M.; GUNERALP B.; REILLY M. K. (2011). A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion. **PLoS ONE**, 6(8): e23777.

SETO, K. C.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, R.; FRAGKIAS, M. The new geography of contemporary urbanization and the environment. **Annual Review of Environment and Resources**, v. 35, p. 167–194, 2010.

SILAN, C.; JIAHONG, L.; HAO, W. Initial research on the theory and application of urban water demand field. **CIÊNCIA CHINAPRESS**, v. 61, n. 13, 2016.

SILVA, A. A. M. et al. Análise multitemporal do crescimento urbano do município de Amambai – MS. **Revista Geociências UNG-Ser**, Guarulhos-SP, v. 17, n.1, 2018.

SILVA, L. P.; FARIA, G. G. Análise multitemporal da expansão urbana em Paranaguá/PR a partir do sensoriamento remoto: 1986 – 2017. **Revista Científica Interdisciplinar**, v. 5, n.1, 2019.

SILVA, J. F. C. B. C. et al. *Analysis of the response of the Epitácio Pessoa reservoir (Brazilian semiarid region) to potential future drought, water transfer and LULC scenarios*. **Natural Hazards**, 2021, 108:1347–1371.

SOUZA, C. M. *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomas with Landsat Archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, Issue 17, 2020.

STOKER, P. *et al.* Building Water-Efficient Cities: A Comparative Analysis of How the Built Environment Influences Water Use in Four Western U.S. Cities. **Journal of the American Planning Association**, v. 85, n. 4, 2019.

TACOLI, C.; MCGRANAHAN, G.; SATTERTHWAITTE, D. *Urbanization, rural–urban migration and urban poverty*. **Human Settlements Group, International Institute for Environment and Development**, 2015

TAVARES, V. C.; ARRUDA, I. R. P.; SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no Semiárido Brasileiro: Uma revisão bibliográfica. **Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 70, p. 385-405, 2019.

TERFA, B.K. *et al.* Urban Expansion in Ethiopia from 1987 to 2017: Characteristics, Spatial Patterns, and Driving Forces. **Sustainability**, 11, 2973, 2019.

VELOZA, C. C. **Os impactos da expansão urbana das áreas conurbadas de Londrina e Maringá na cobertura e fragmentação florestal**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2021.

VOHLAND, K. et al. **The Science of Citizen Science**. Gewerbestrasse: Springer Nature, 2021.

WADA, Y. *et al.* Modeling global water use for the 21st century: the Water Futures and Solutions (WFaS) initiative and its approaches. **Geoscientific Model Development**, 9, 175–222, 2016.

WANG, R.; KIM, J. H.; LI, M. Predicting stream water quality under different urban development pattern scenarios with an interpretable machine learning approach. **Science of The Total Environment**, v. 761, 2021, 144057.

WOFURU-NYENKEA, O.; BRIGGSA, T. Predicting demand in a bottled water supply chain using classical time series forecasting models. **Journal of Future Sustainability**, 2 (2022) 65–80.

WOLDESEMAYAT, E. M.; GENOVESE, P. V. Monitoring Urban Expansion and Urban Green Spaces Change in Addis Ababa: Directional and Zonal Analysis Integrated with Landscape Expansion Index. **Forests**, 2021, 12, 389.

WU, J. Urban ecology and sustainability: The state-of-the-science and future directions. **Landscape and Urban Planning**, v. 125, p. 209–221, 2014.

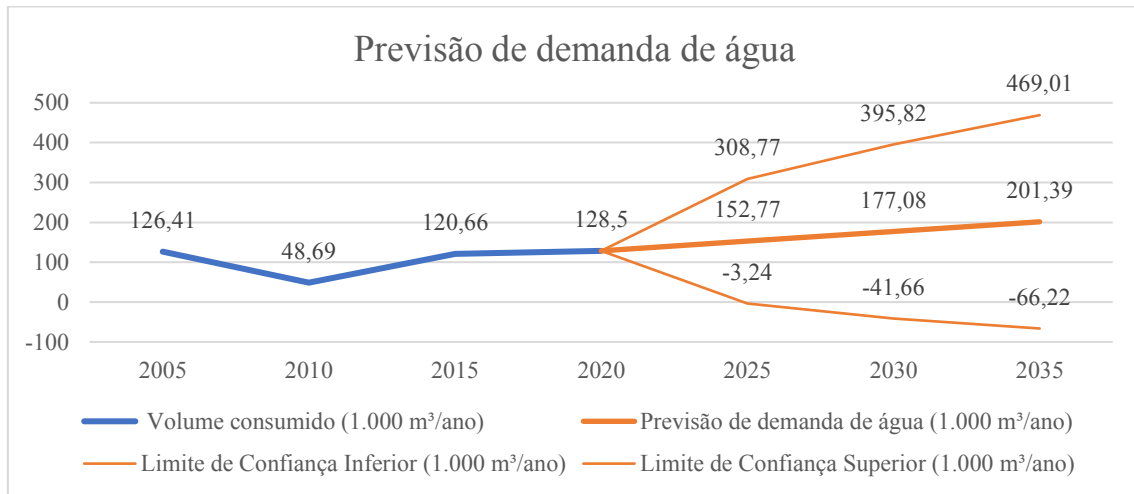
YANG, W. et al. Urban water sustainability: Framework and application. **Ecology and Society**, v. 21, n. 4, 2016.

YOMO, M.; MOURAD, K. A.; GNAZOU, M. D. T. Examining Water Security in the Challenging Environment in Togo, West Africa. **Water**, v. 11, n. 2, p. 231, 2019.

ZUBAIDI, S. L. *et al.* The Prediction of Municipal Water Demand in Iraq: A Case Study of Baghdad Governorate. **Developments in eSystems Engineering (DeSE)**, 2019, pp. 274-277.

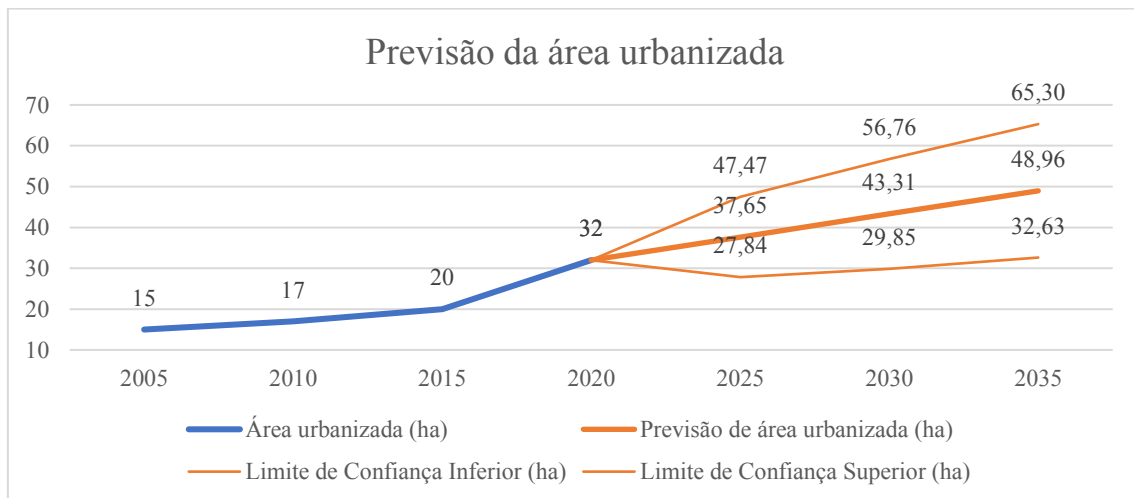
APÊNDICE A

Figura 88 - Previsão de demanda de água de Aguiar



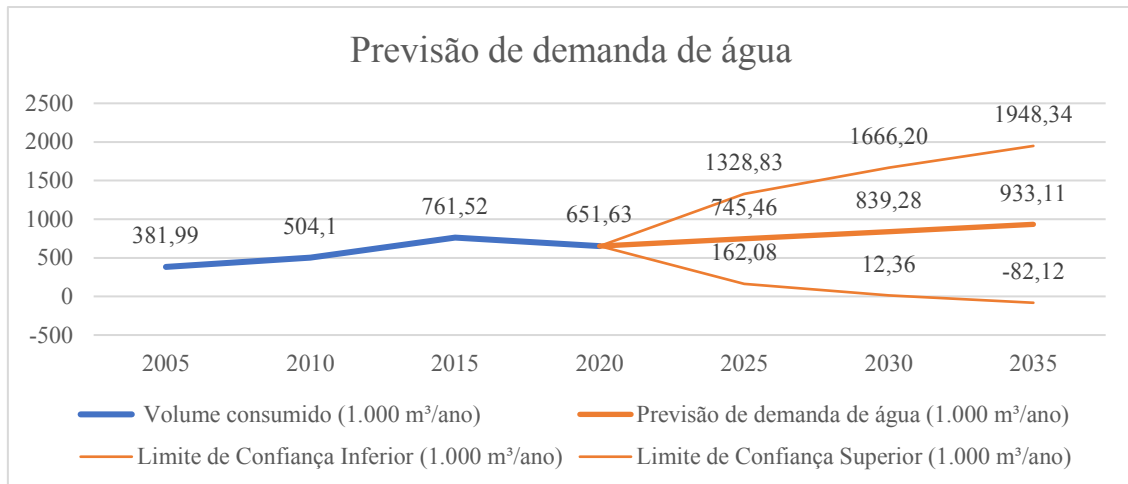
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 89 - Previsão da área urbanizada de Aguiar



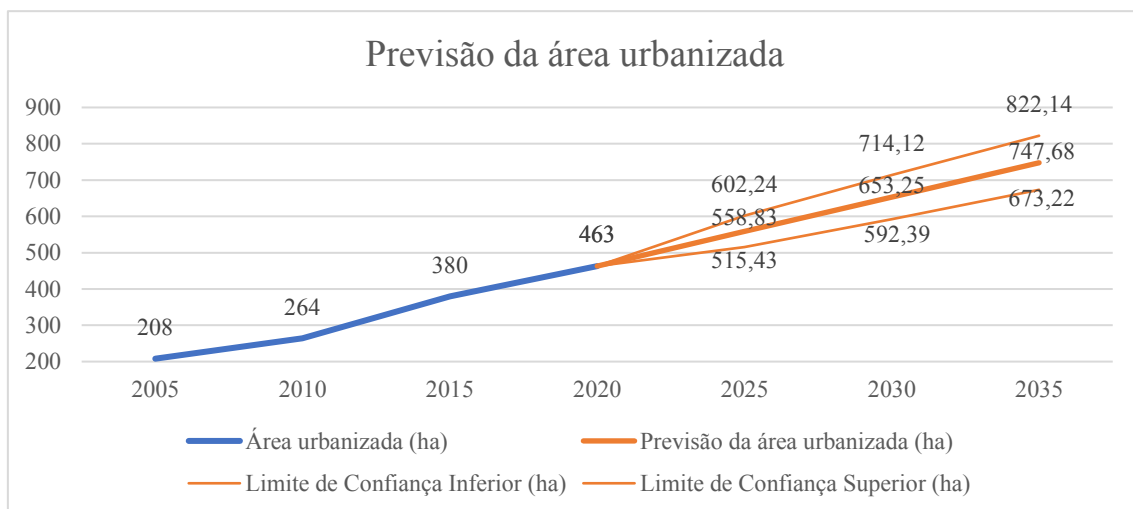
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 90 - Previsão de demanda de água de Alhandra



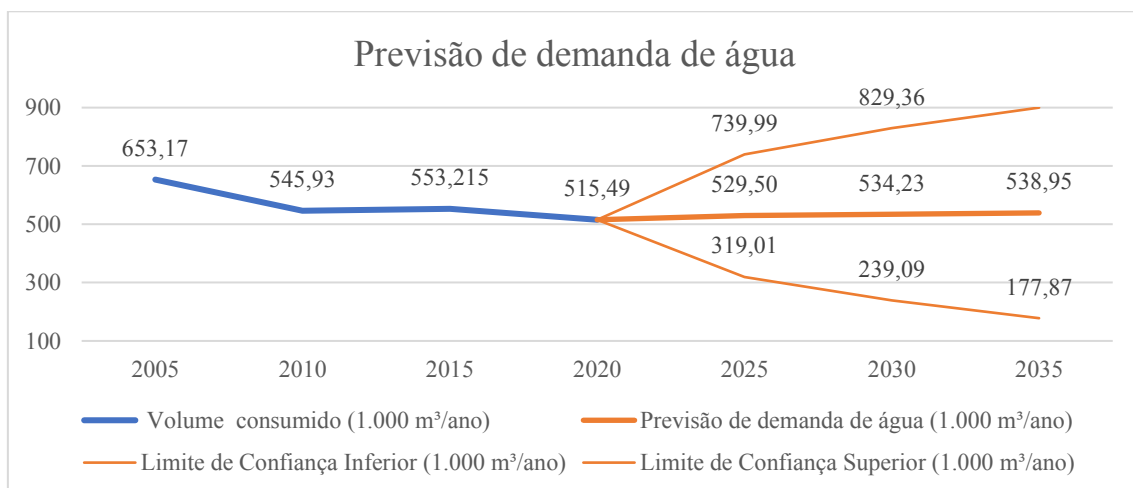
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 91 - Previsão da área urbanizada de Alhandra



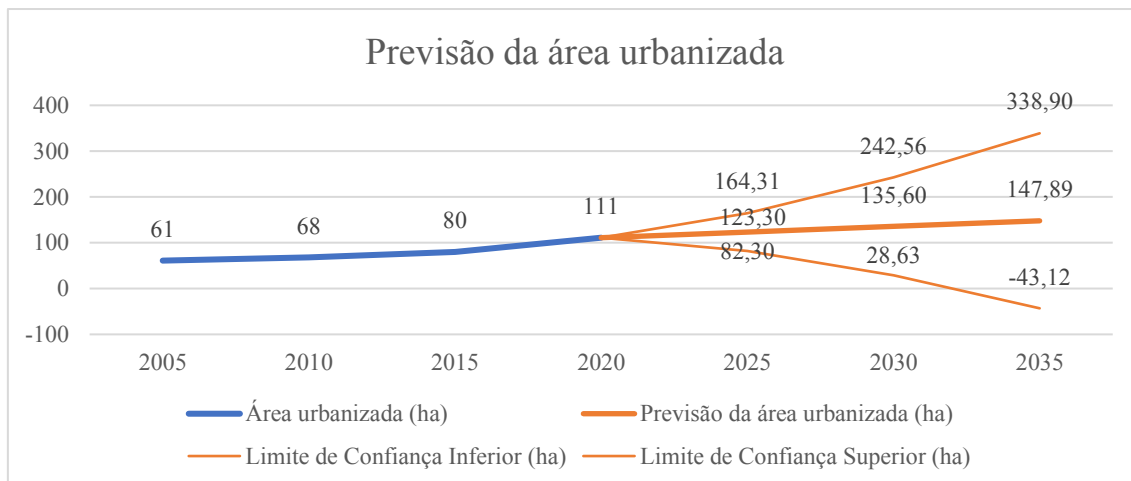
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 92 - Previsão de demanda de água de Areia



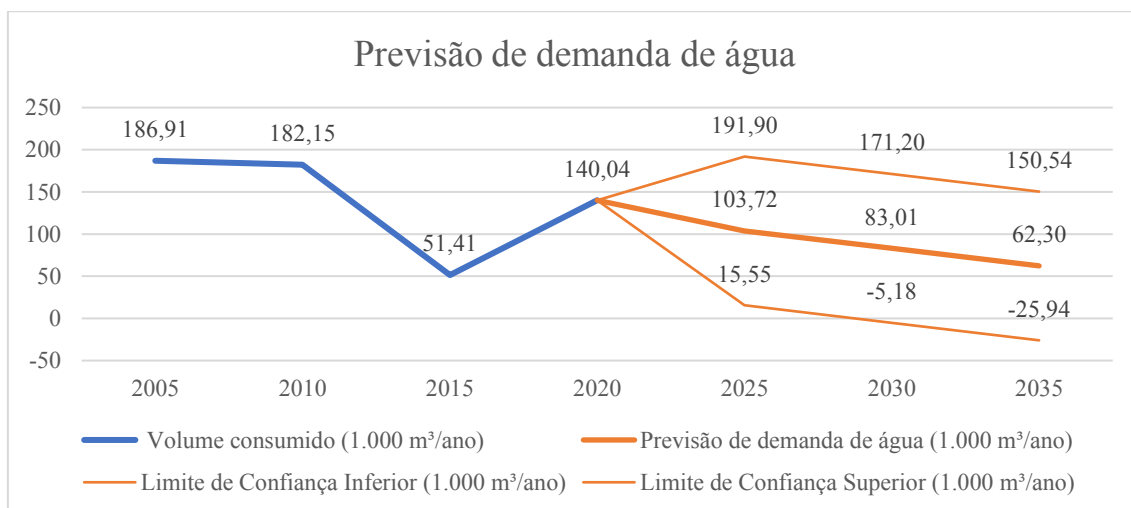
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 93 - Previsão da área urbanizada de Areia



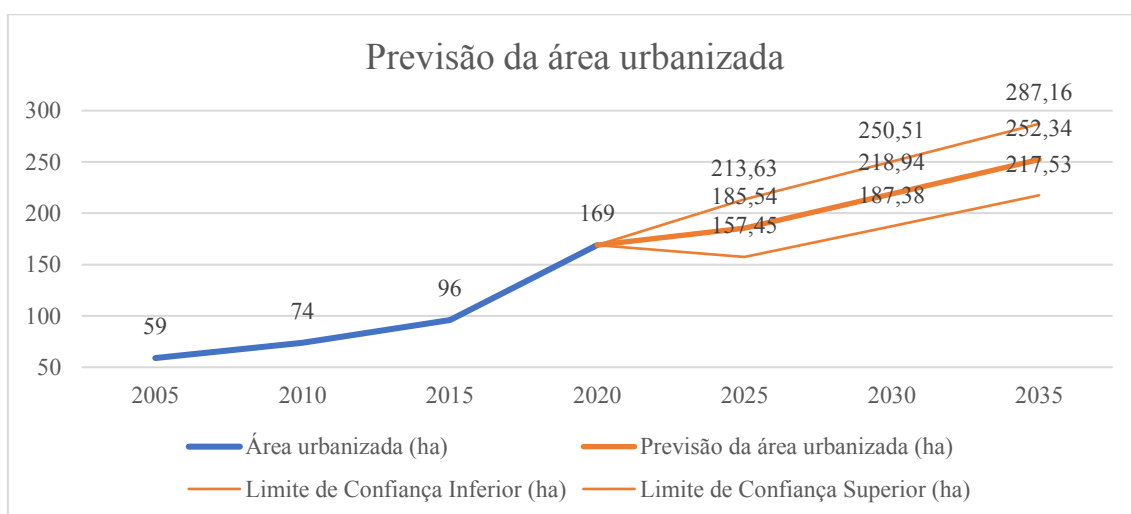
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 94 - Previsão de demanda de água de Bananeiras



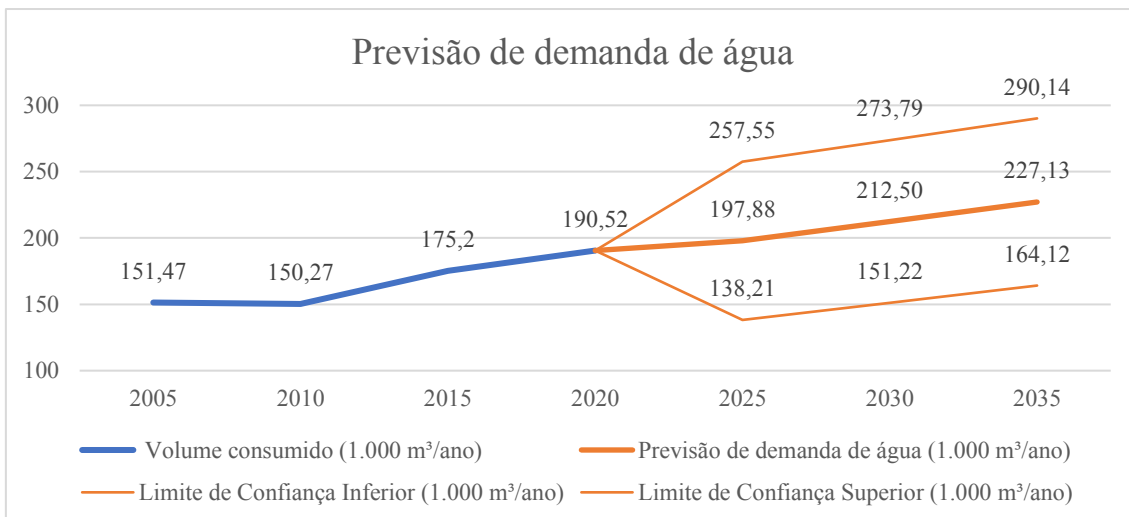
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 95 - Previsão da área urbanizada de Bananeiras



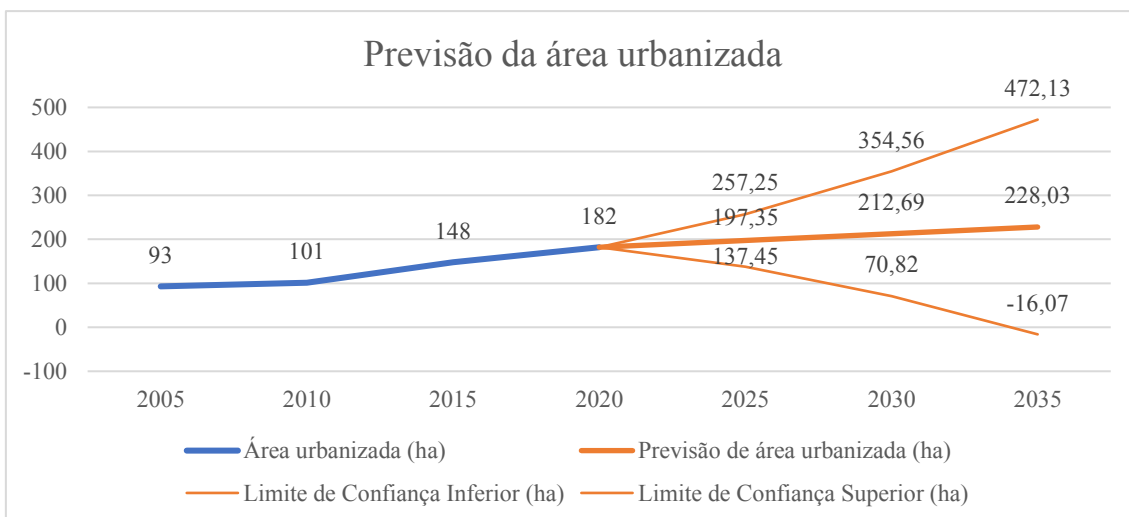
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 96 - Previsão de demanda de água de Boa Vista



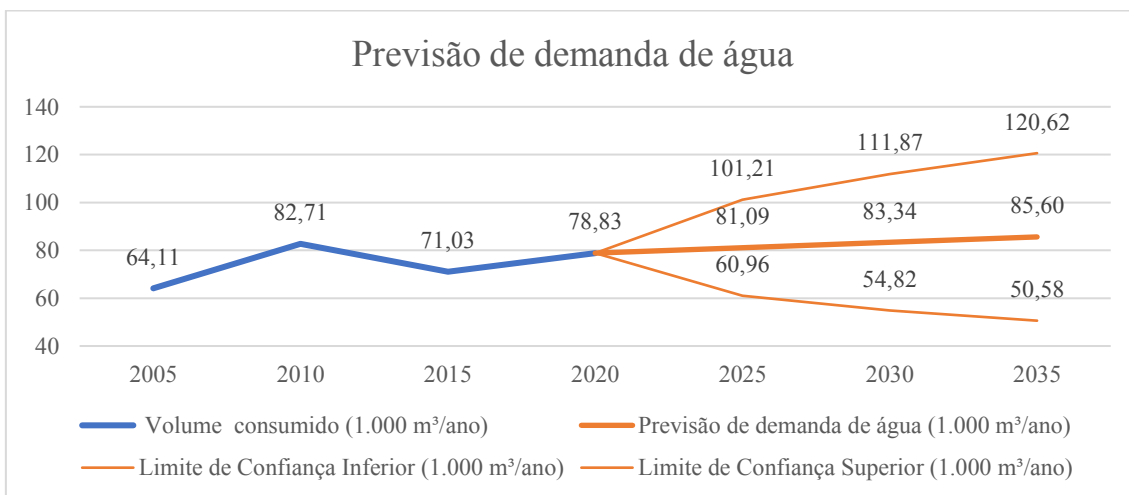
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 97 - Previsão da área urbanizada de Boa Vista



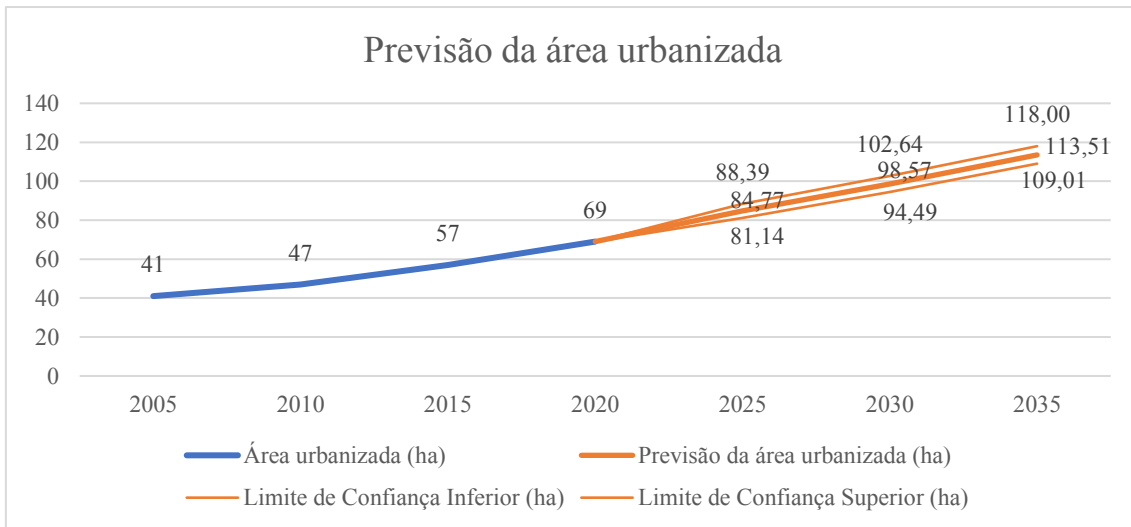
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 98 - Previsão de demanda de água de Bom Sucesso



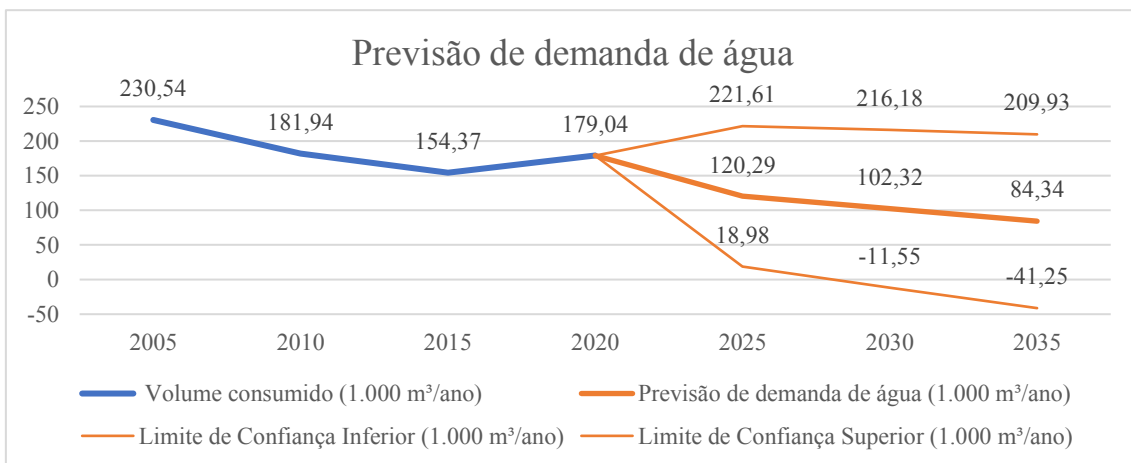
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 99 - Previsão da área urbanizada de Bom Sucesso



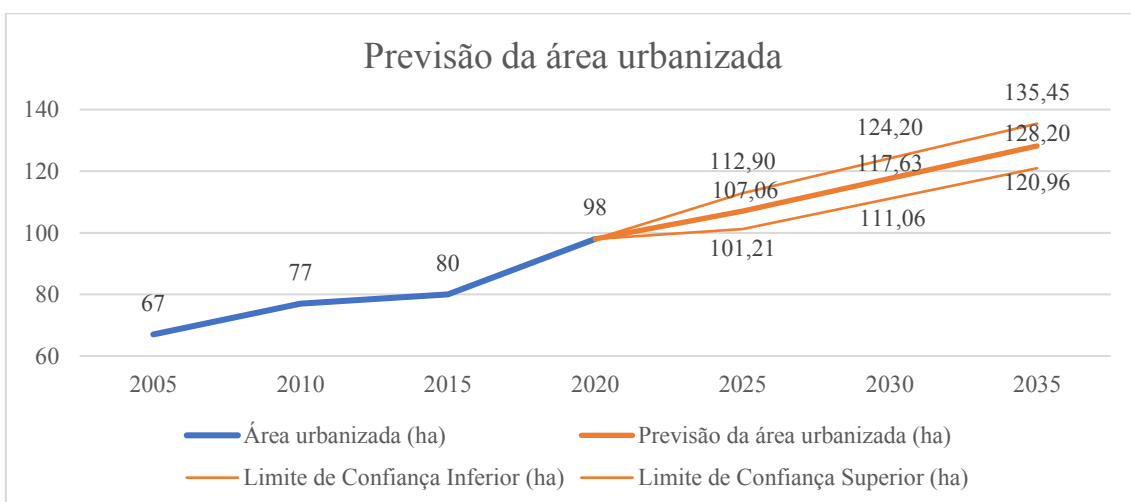
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 100 - Previsão de demanda de água de Brejo dos Santos



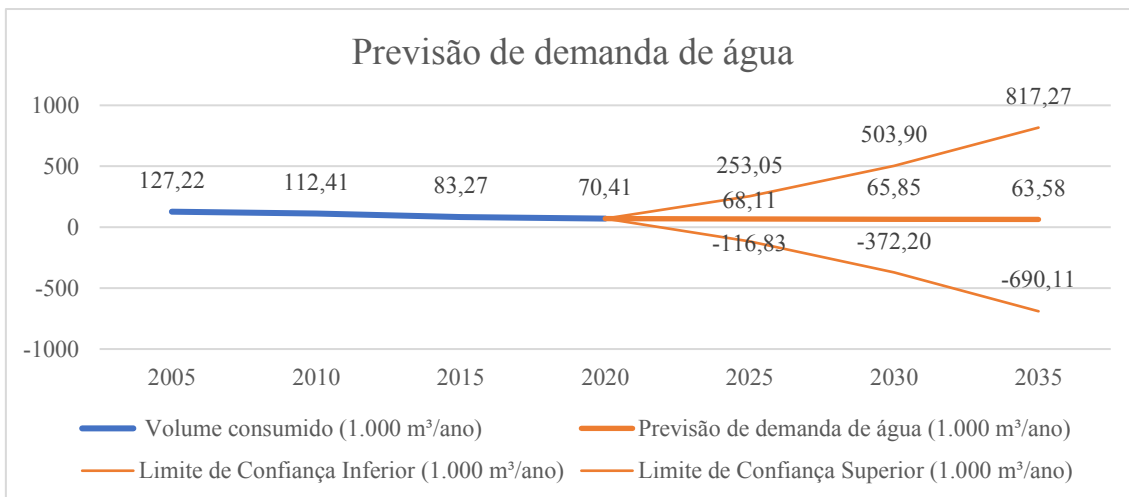
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 101 - Previsão da área urbanizada de Brejo dos Santos



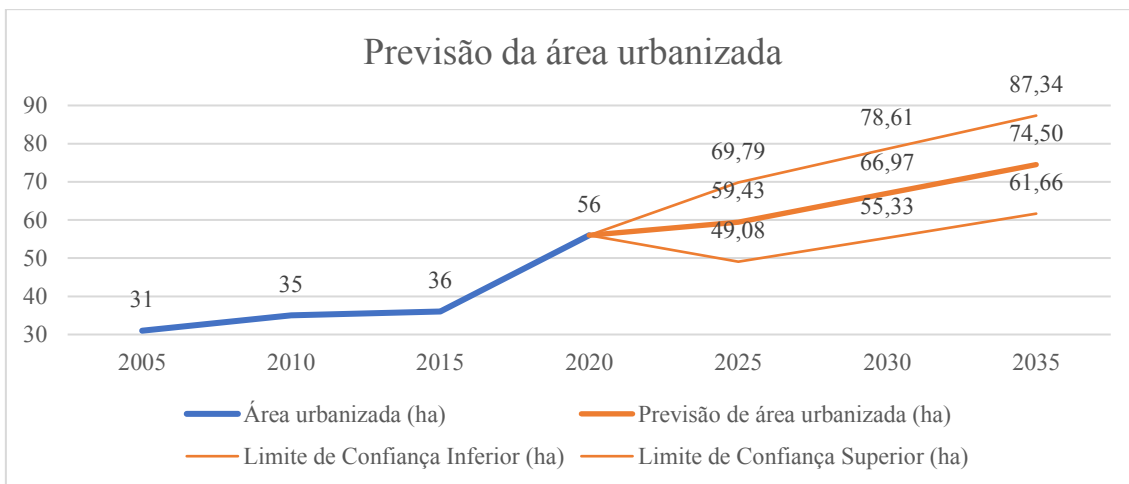
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 102 - Previsão de demanda de água de Cabaceiras



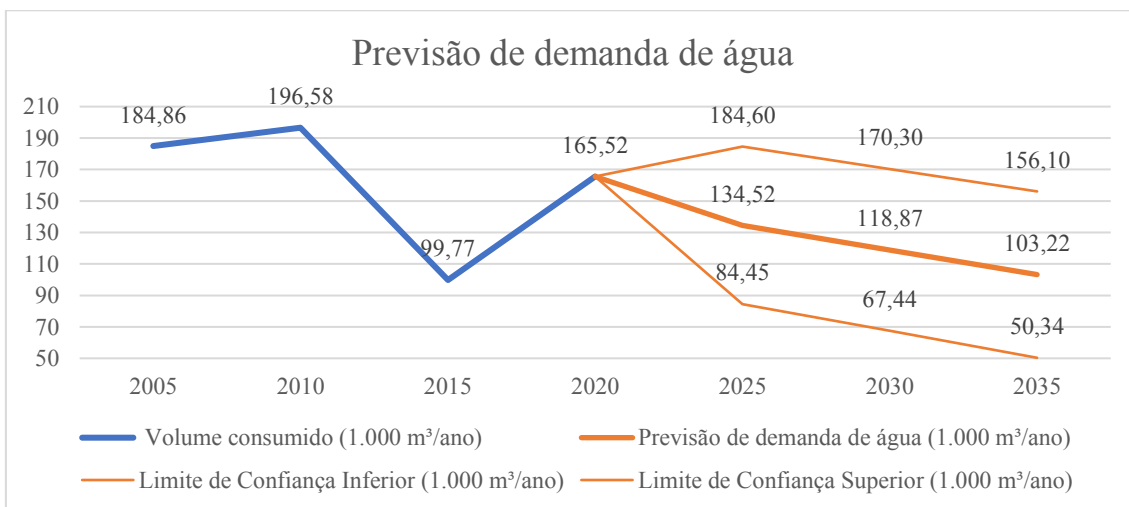
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 103 - Previsão da área urbanizada de Cabaceiras



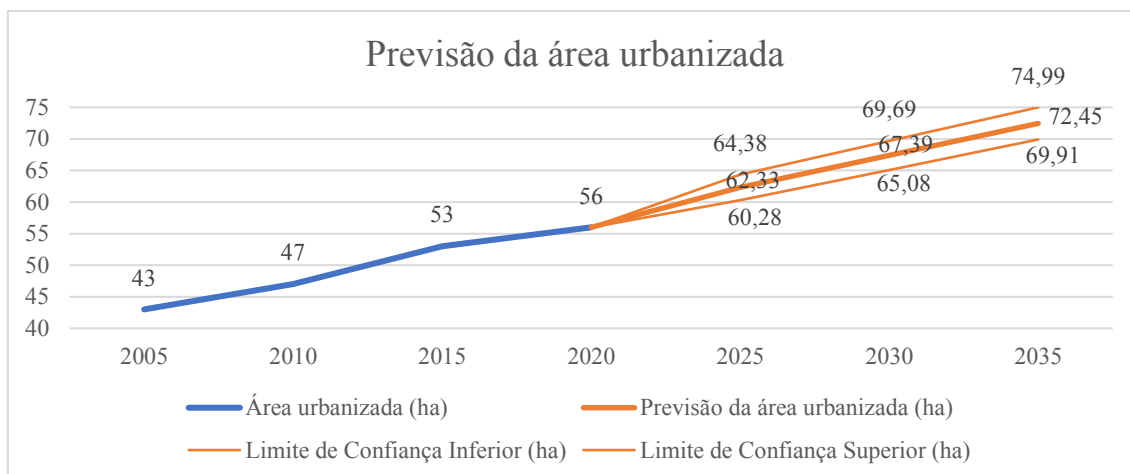
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 104 - Previsão de demanda de água de Caiçara



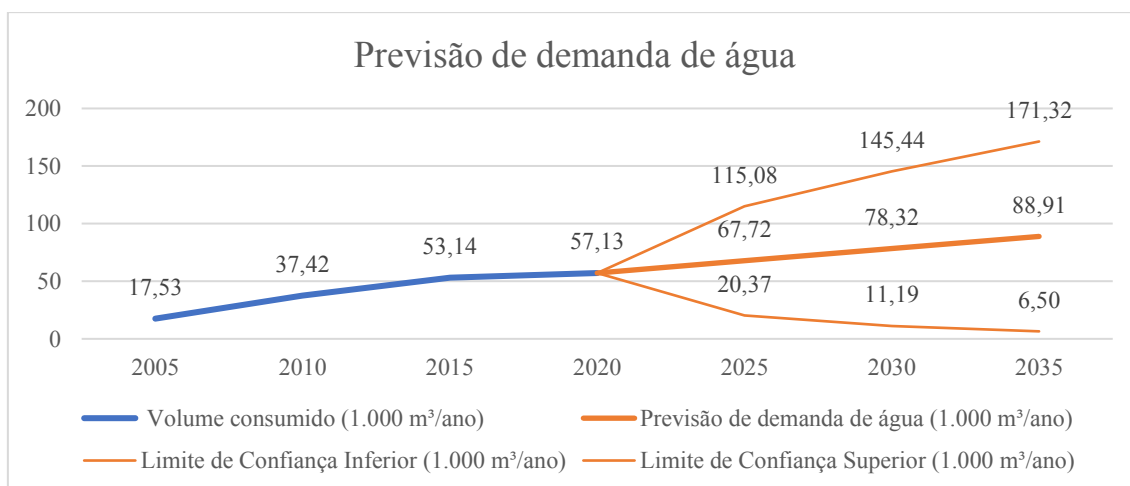
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 105 - Previsão da área urbanizada de Caiçara



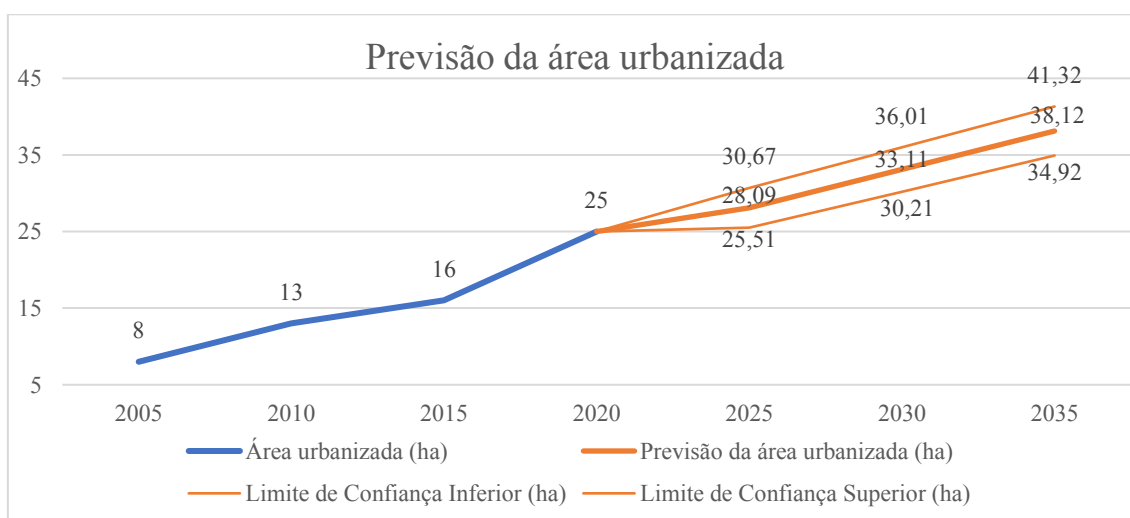
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 106 - Previsão de demanda de água de Cajazeirinhas



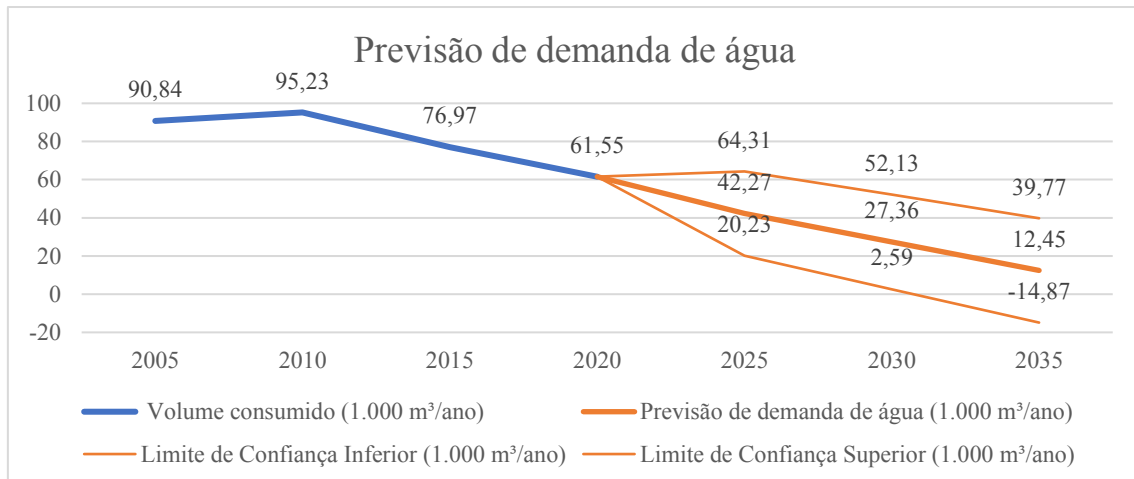
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 107 - Previsão da área urbanizada de Cajazeirinhas



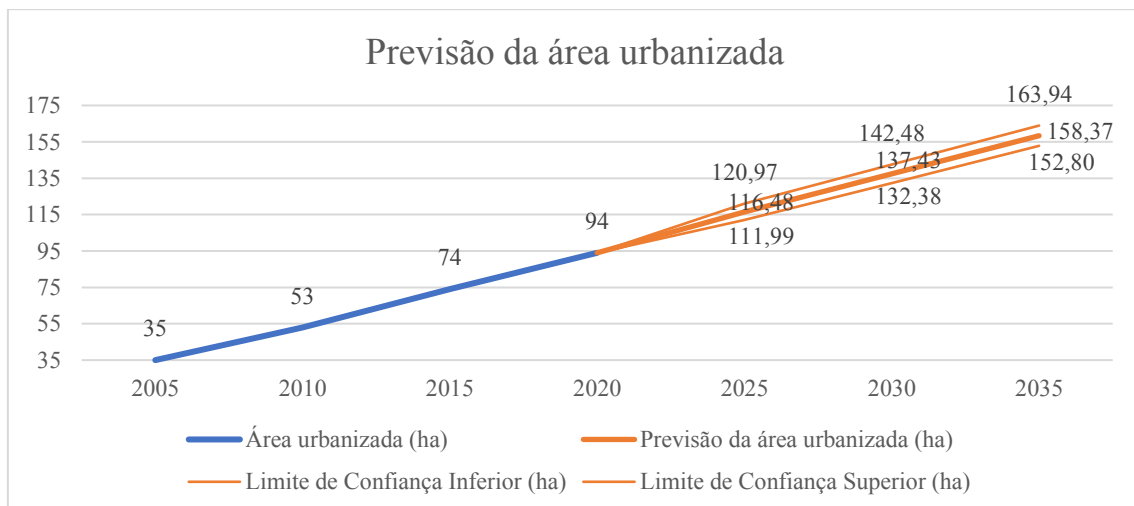
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 108 - Previsão de demanda de água de Casserengue



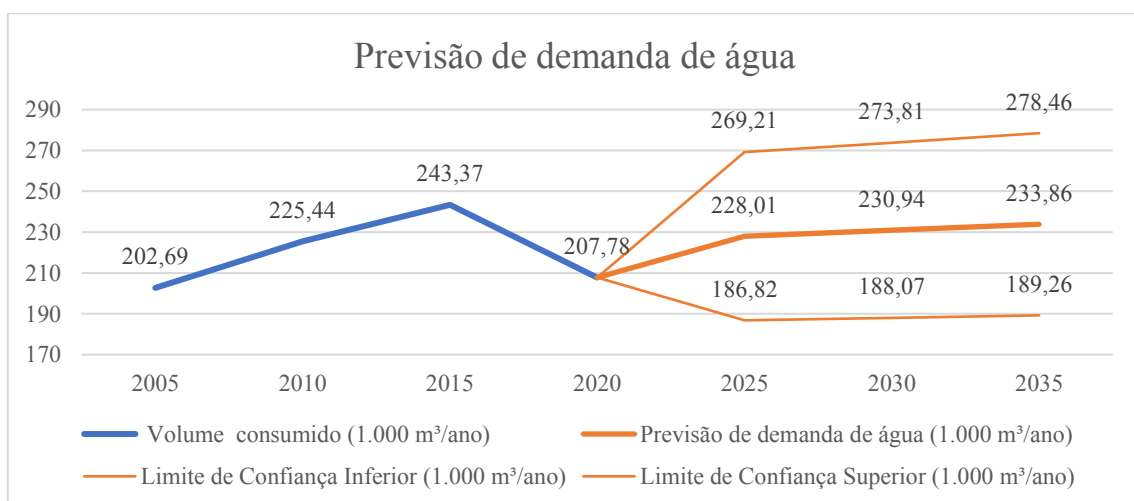
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 109 - Previsão da área urbanizada de Casserengue



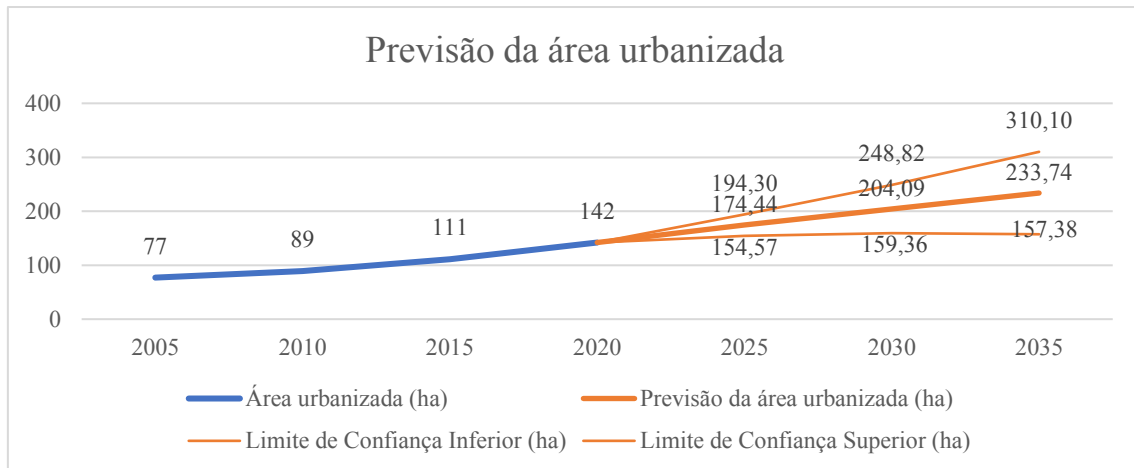
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 110 - Previsão de demanda de água de Cruz do Espírito Santo



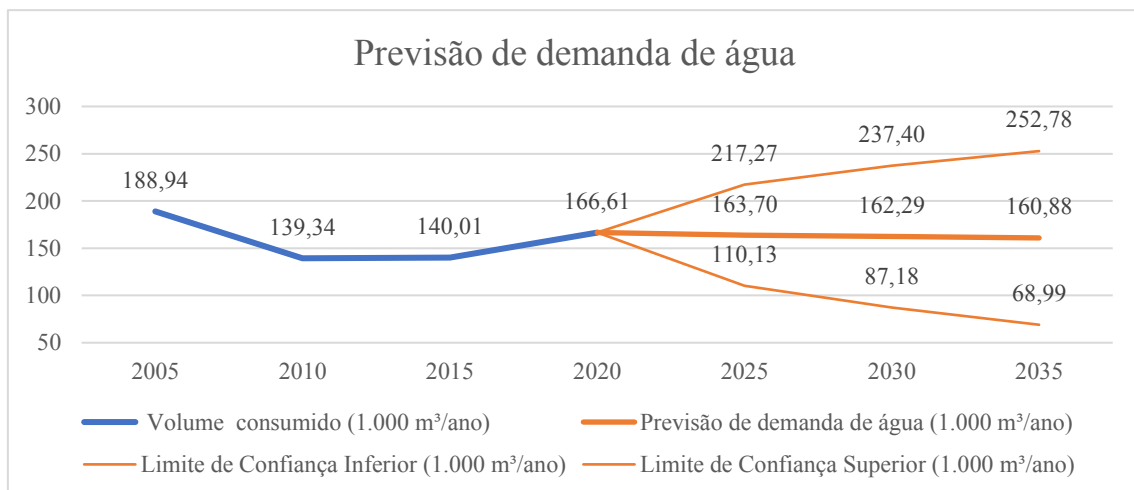
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 111 - Previsão da área urbanizada de Cruz do Espírito Santo



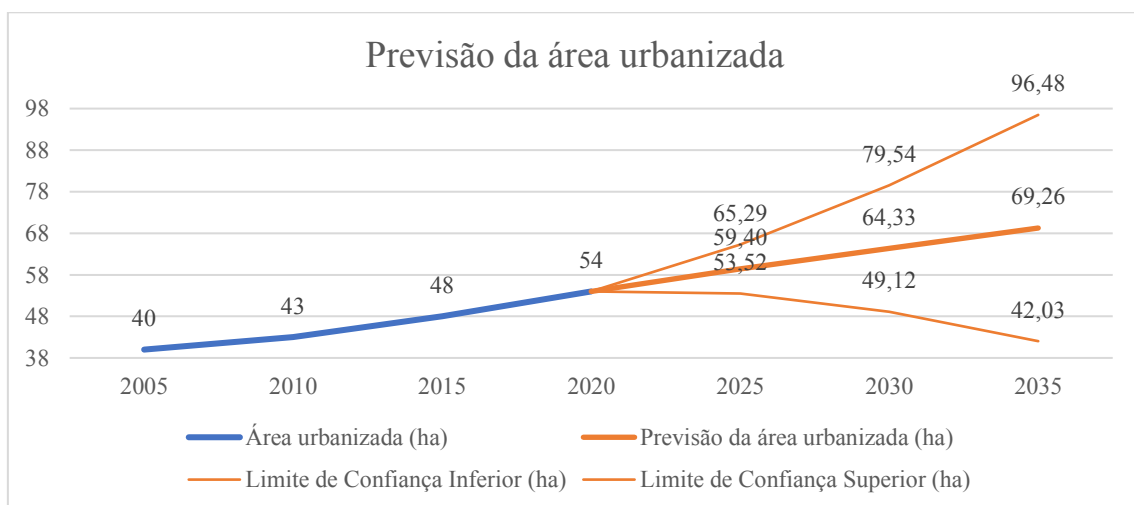
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 112 - Previsão de demanda de água de Ibiara



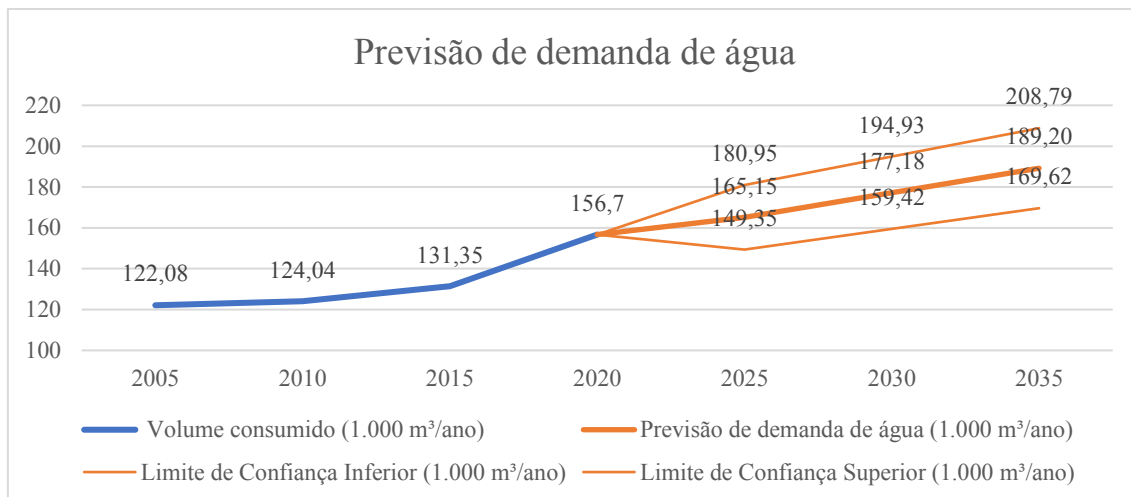
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 113 - Previsão da área urbanizada de Ibiara



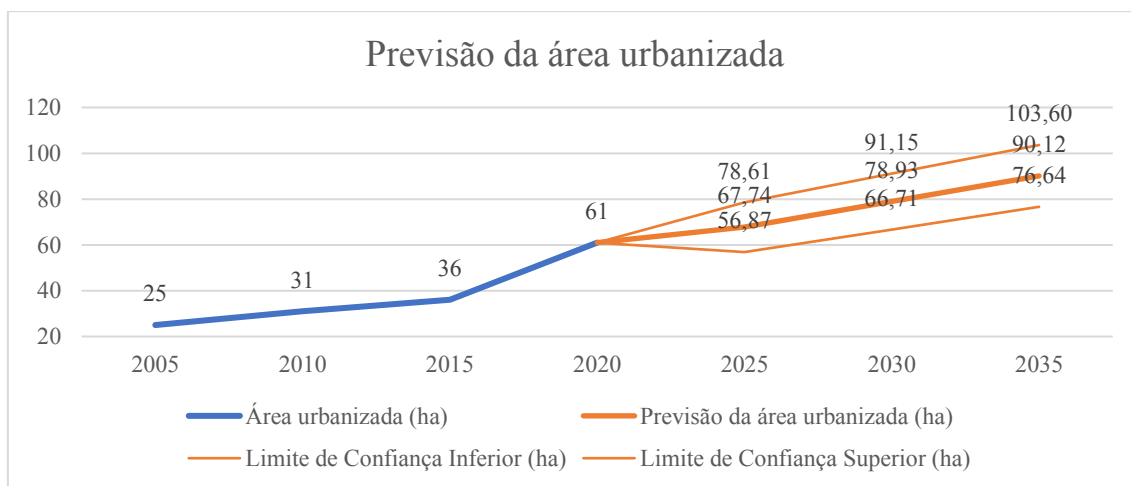
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 114 - Previsão de demanda de água de Igaracy



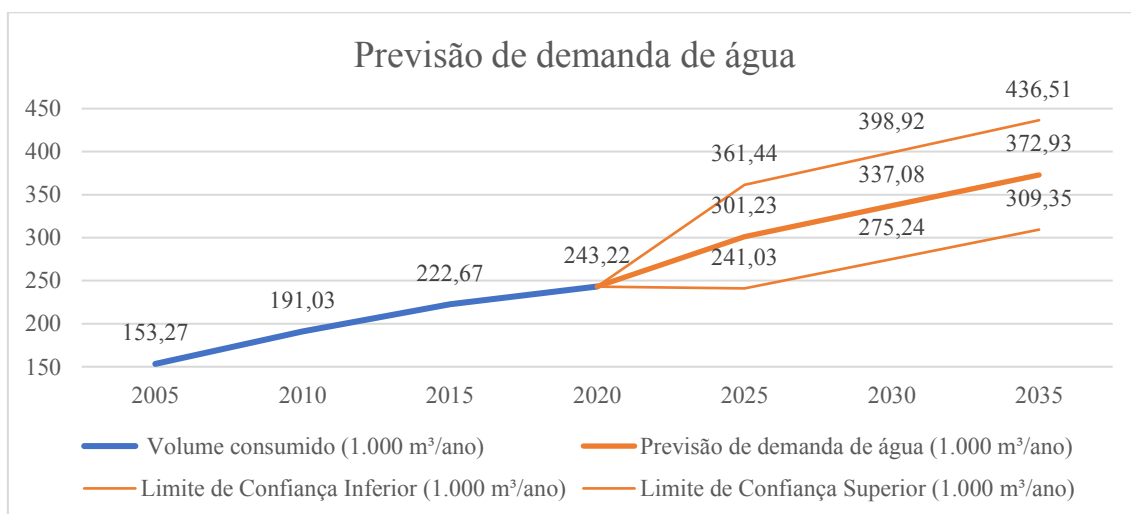
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 115 - Previsão da área urbanizada de Igaracy



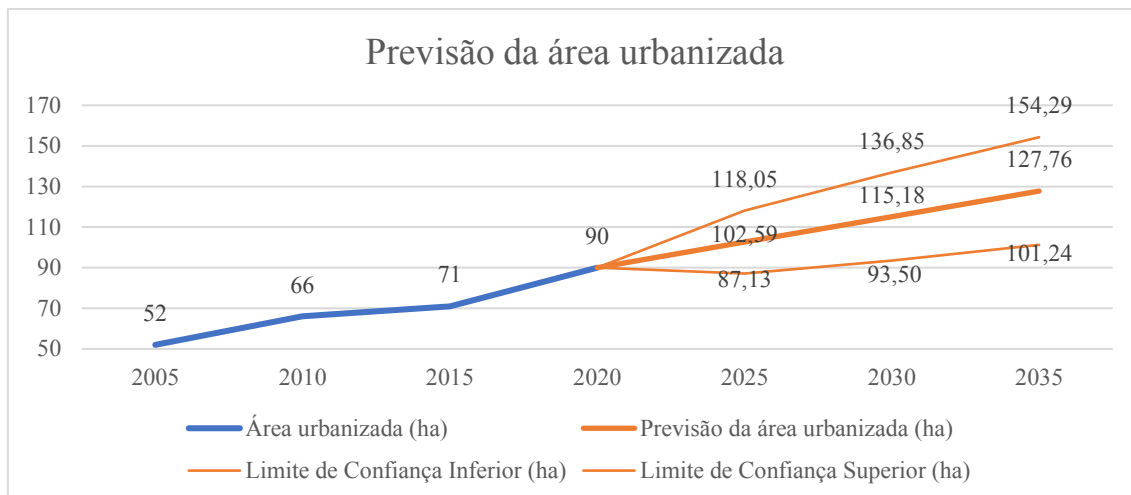
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 116 - Previsão de demanda de água de Manaíra



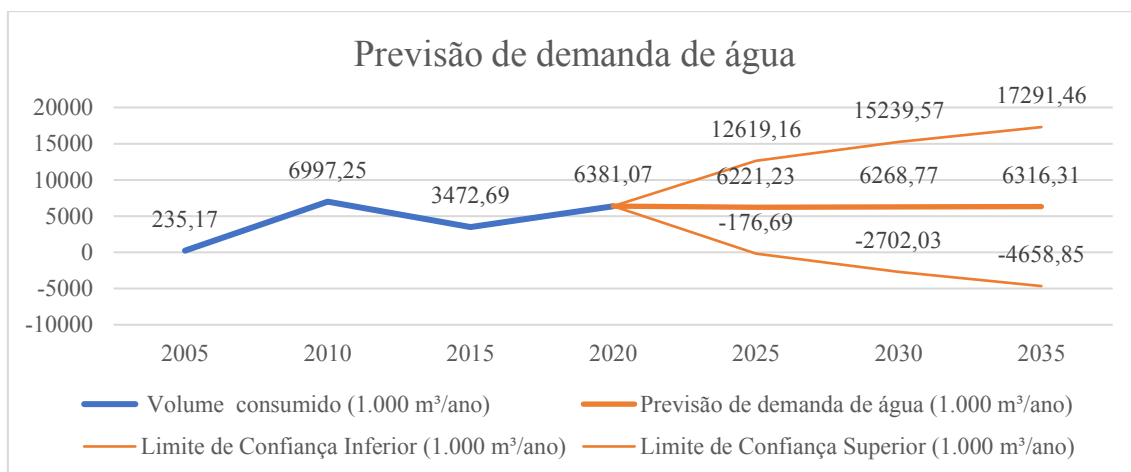
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 117 - Previsão da área urbanizada de Manaíra



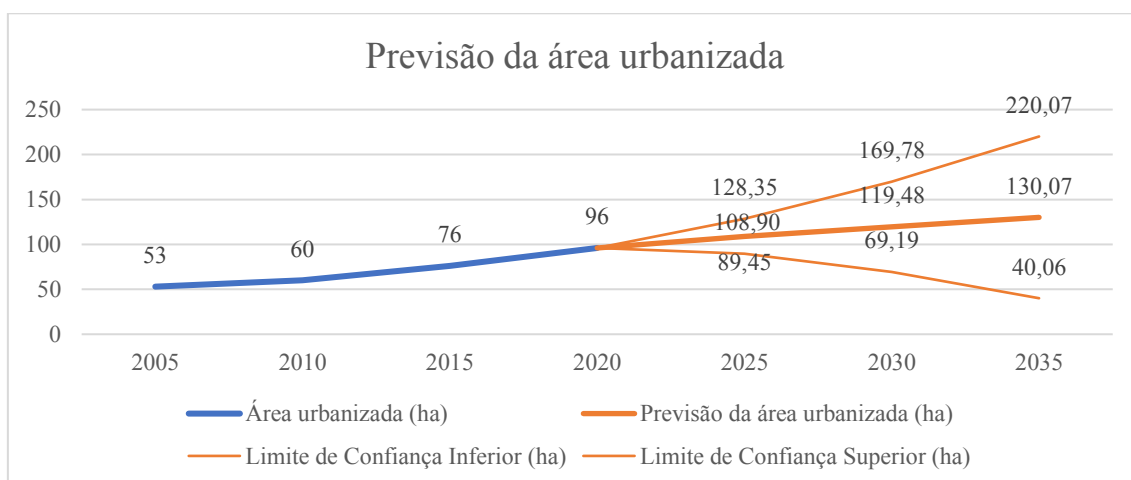
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 118 - Previsão de demanda de água de Marizópolis



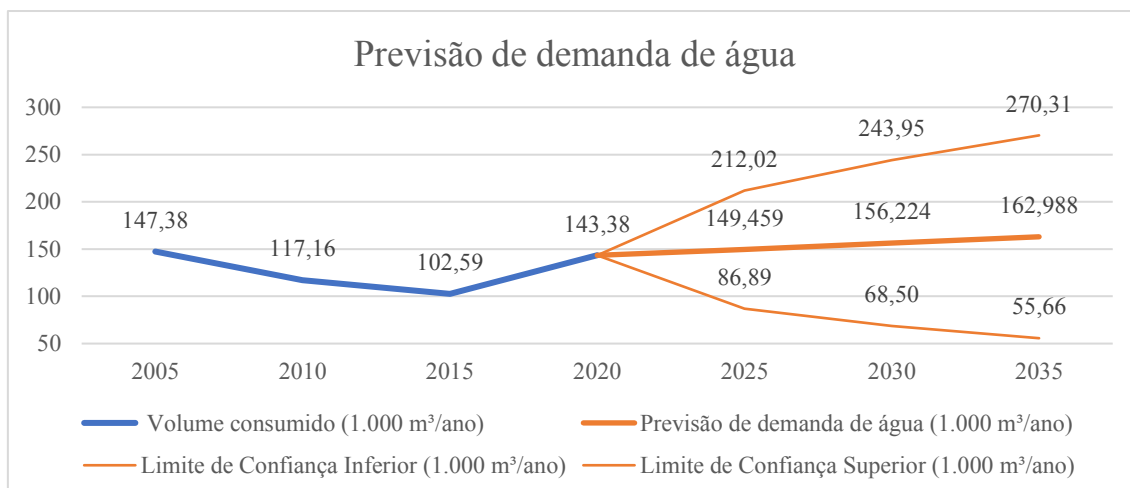
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 119 - Previsão da área urbanizada de Marizópolis



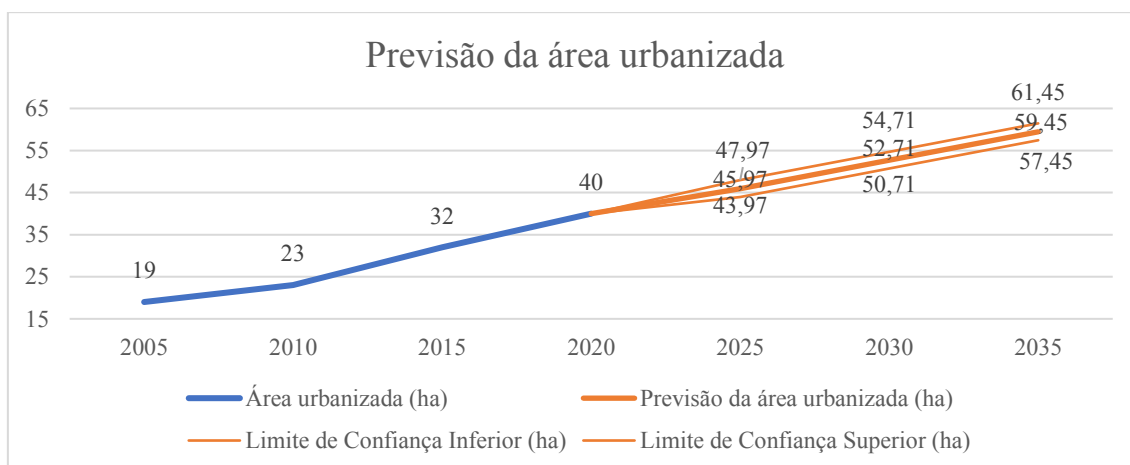
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 120 - Previsão de demanda de água de Natuba



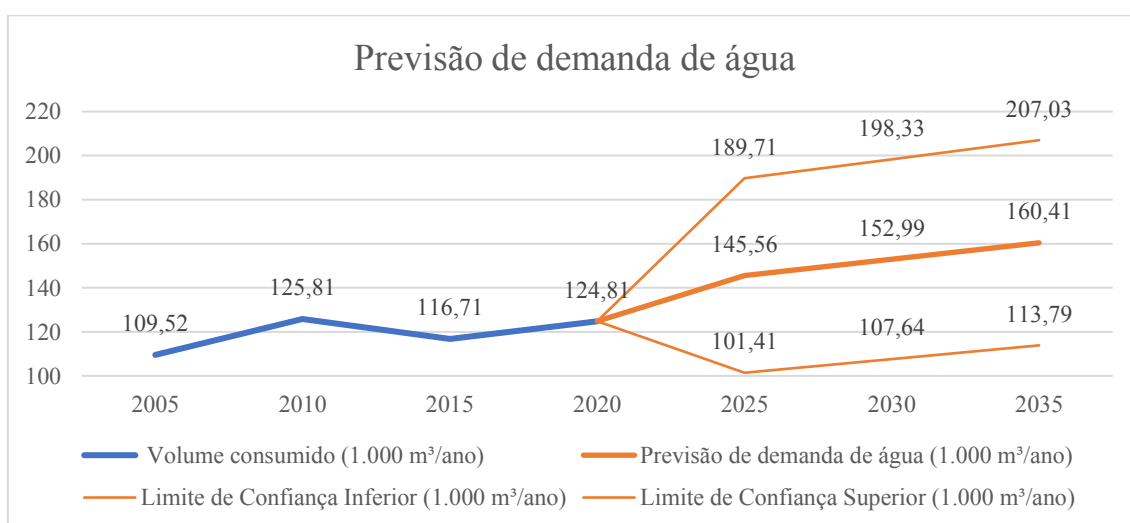
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 121 - Previsão da área urbanizada de Natuba



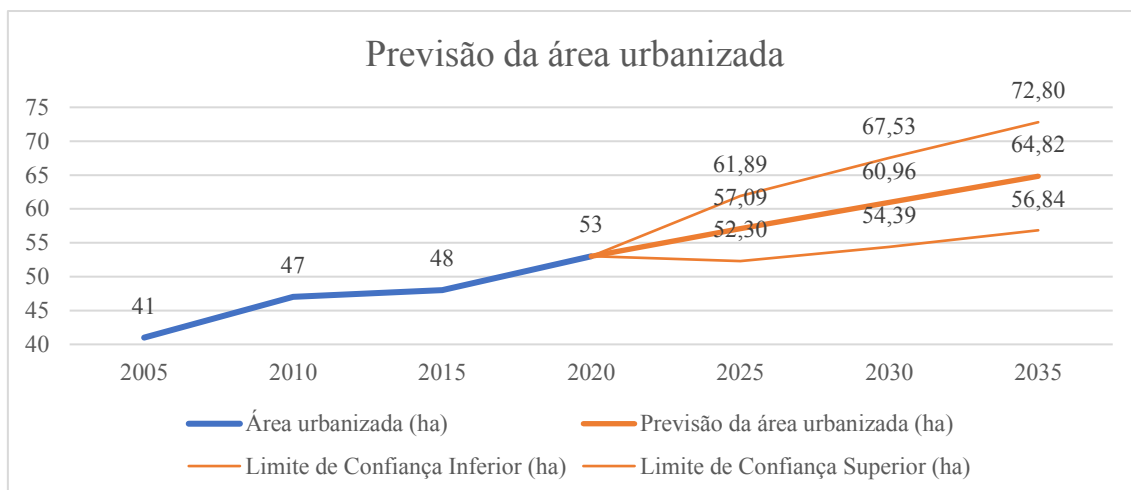
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 122 - Previsão de demanda de água de Nova Olinda



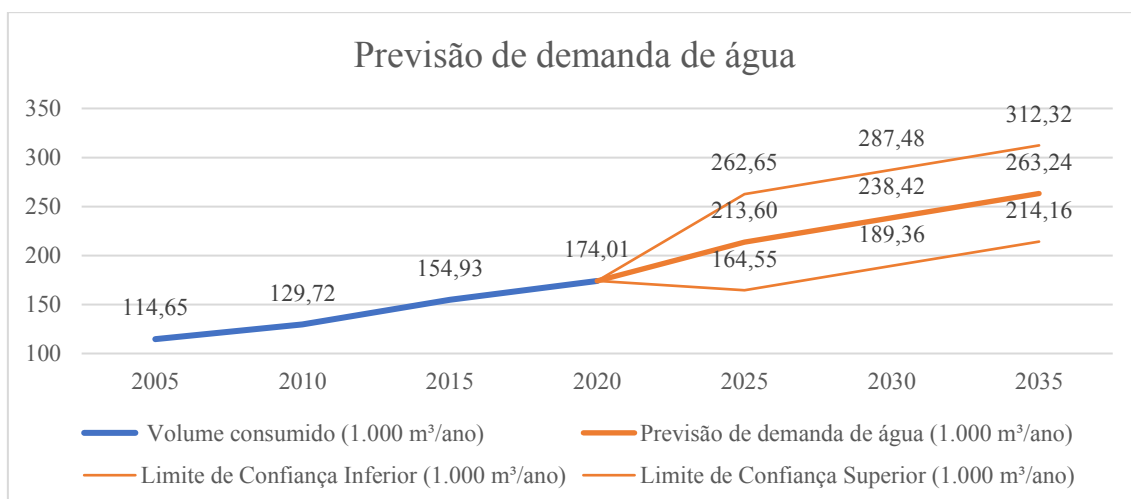
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 123 - Previsão da área urbanizada de Nova Olinda



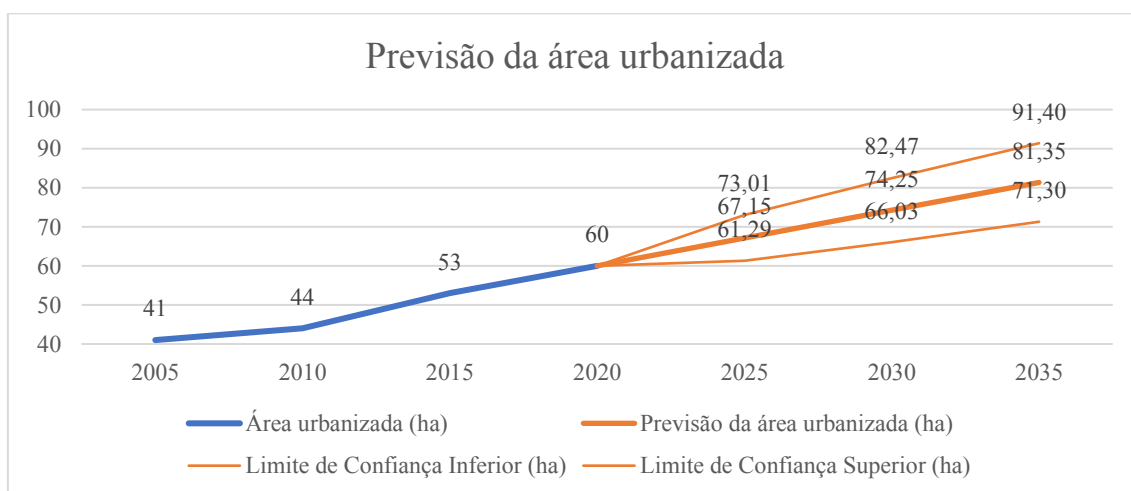
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 124 - Previsão de demanda de água de Olho D'Água



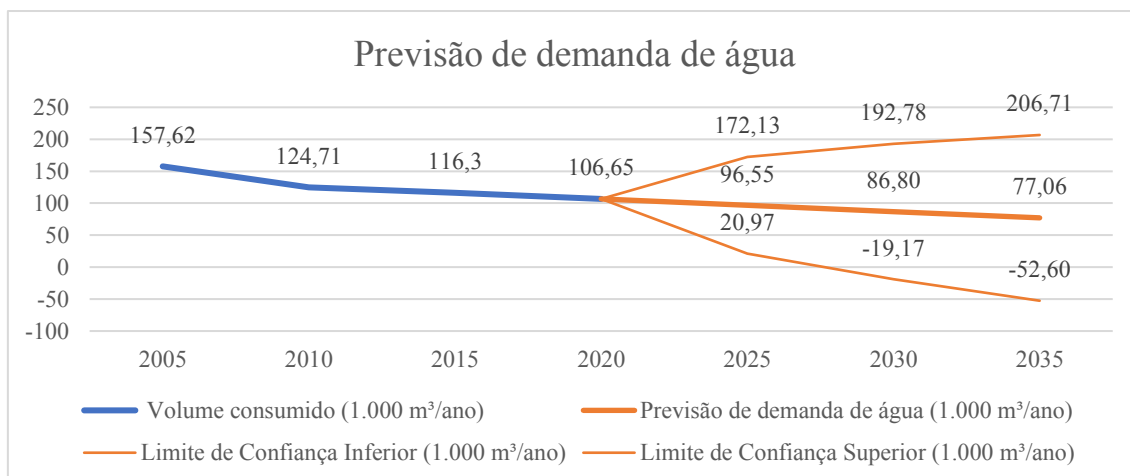
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 125 - Previsão da área urbanizada de Olho D'Água



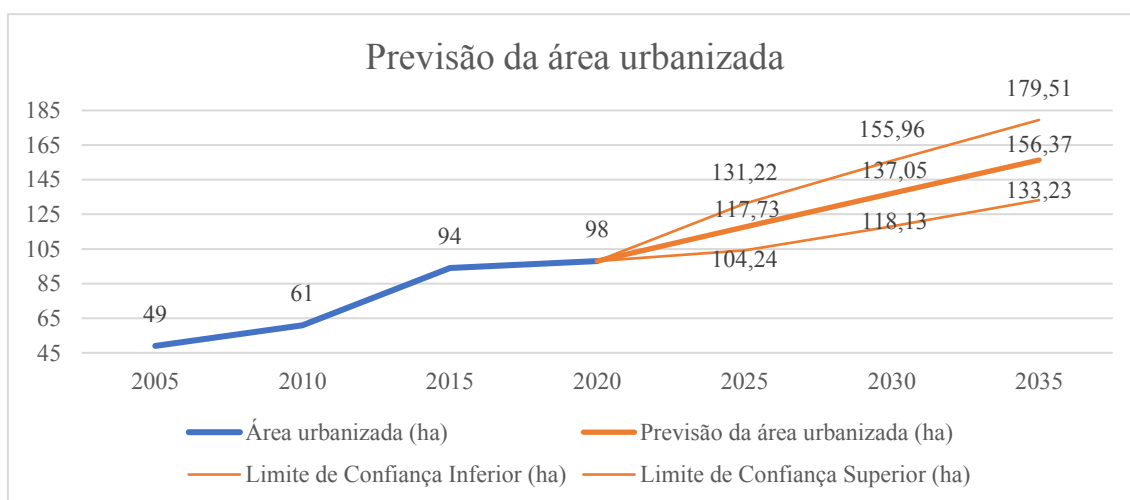
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 126 - Previsão de demanda de água de Pedra Lavrada



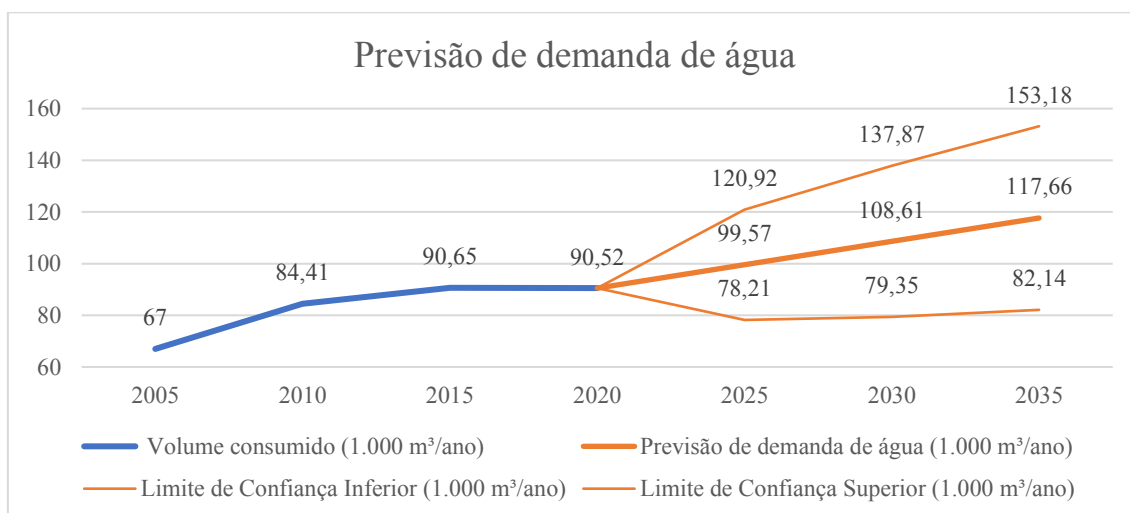
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 127 - Previsão da área urbanizada de Pedra Lavrada



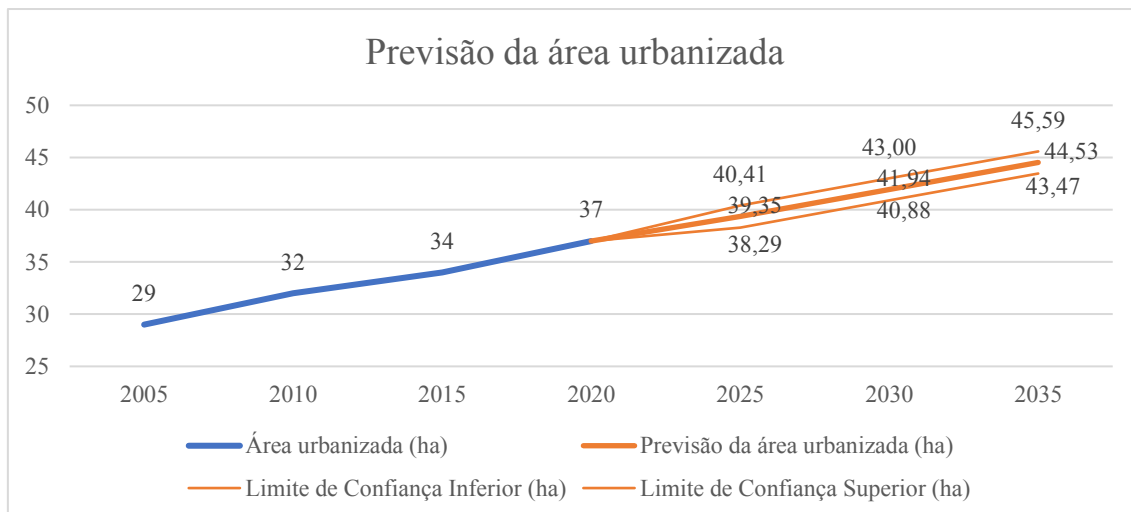
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 128 - Previsão de demanda de água de Santana de Mangueira



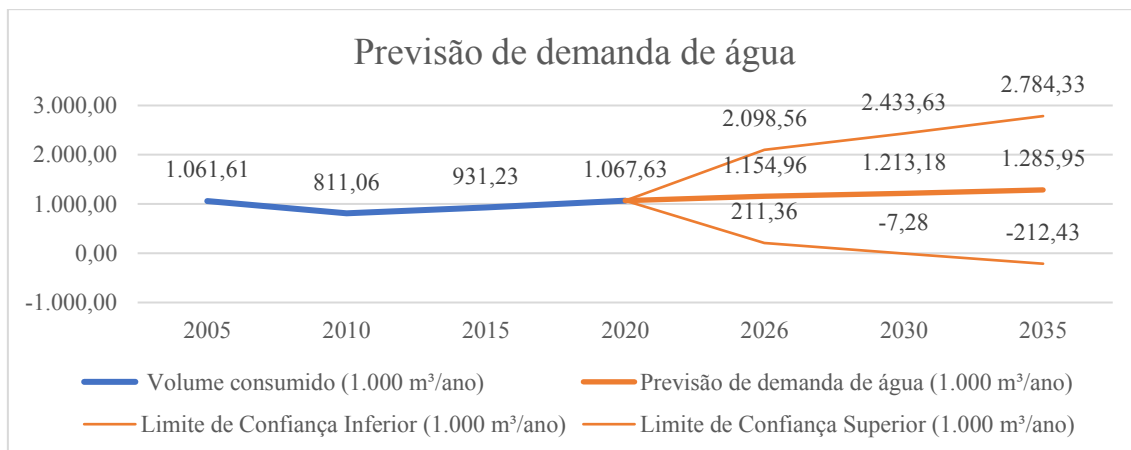
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 129 - Previsão da área urbanizada de Santana de Mangueira



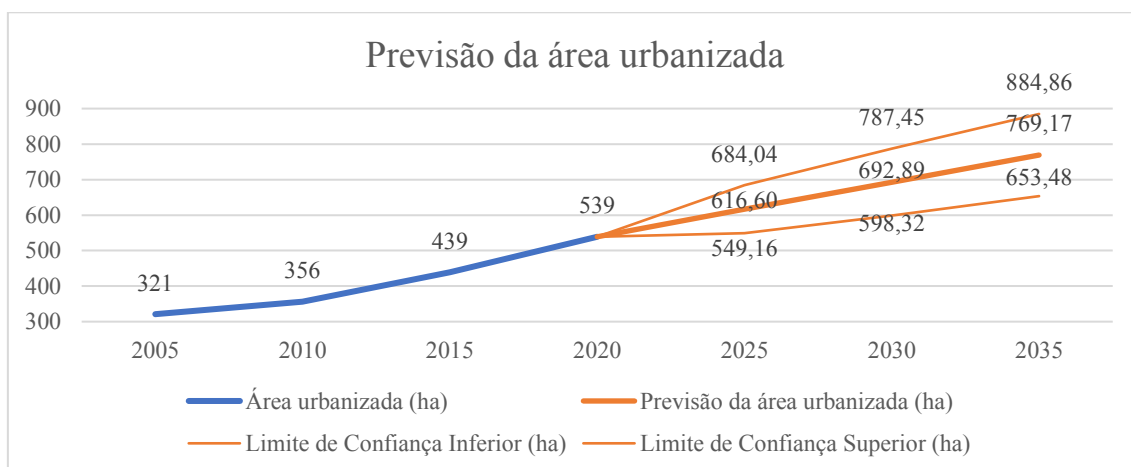
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 130 - Previsão de demanda de água de São Bento



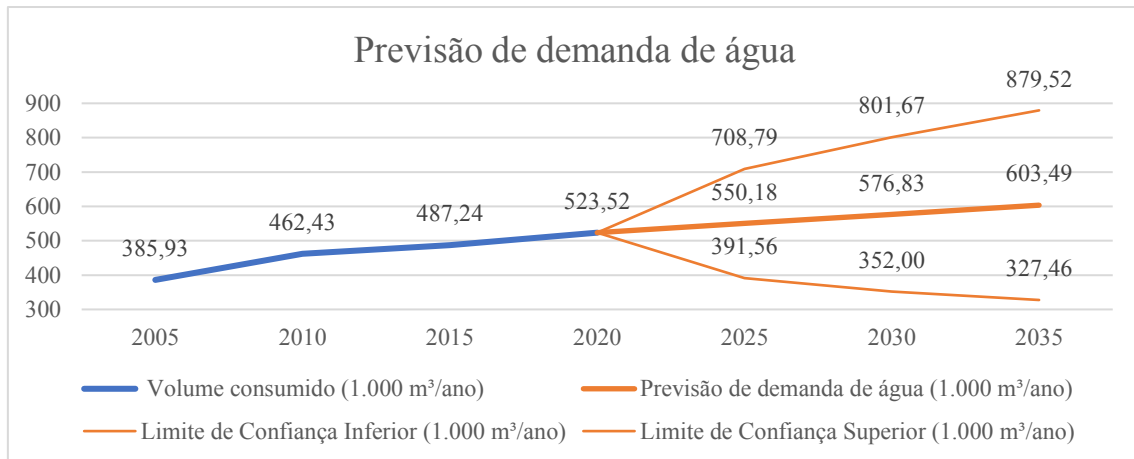
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 131 - Previsão da área urbanizada de São Bento



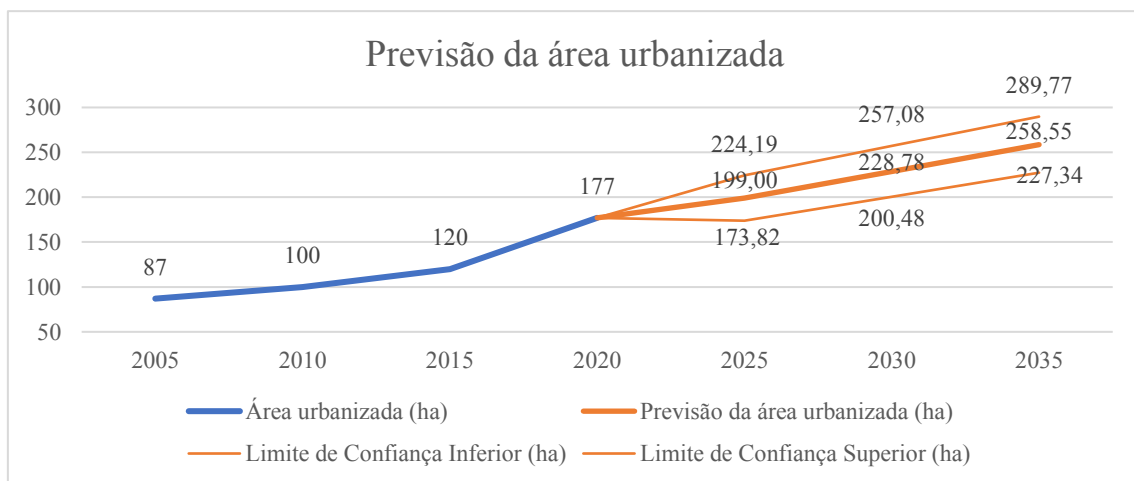
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 132 - Previsão de demanda de água de São José de Piranhas



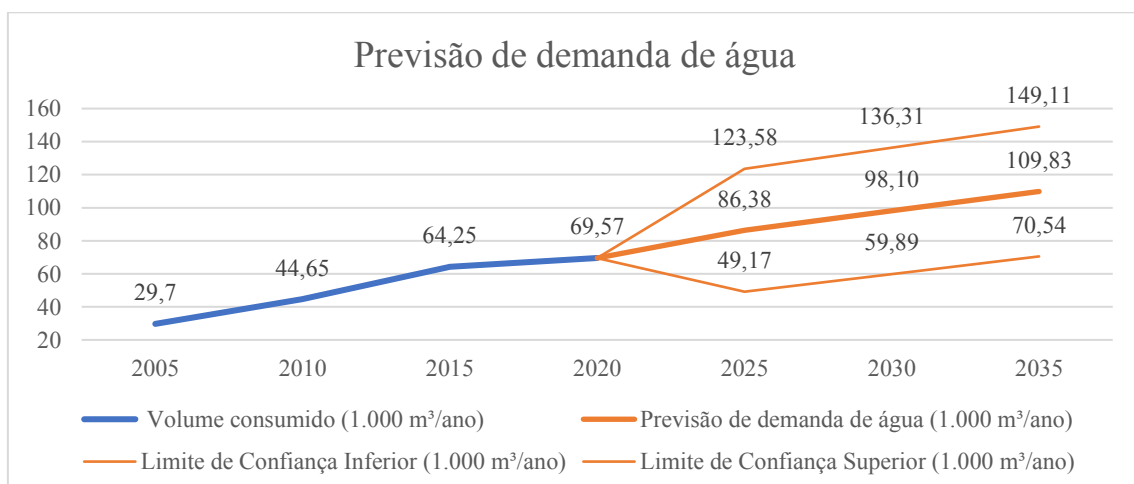
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 133 - Previsão da área urbanizada de São José de Piranhas



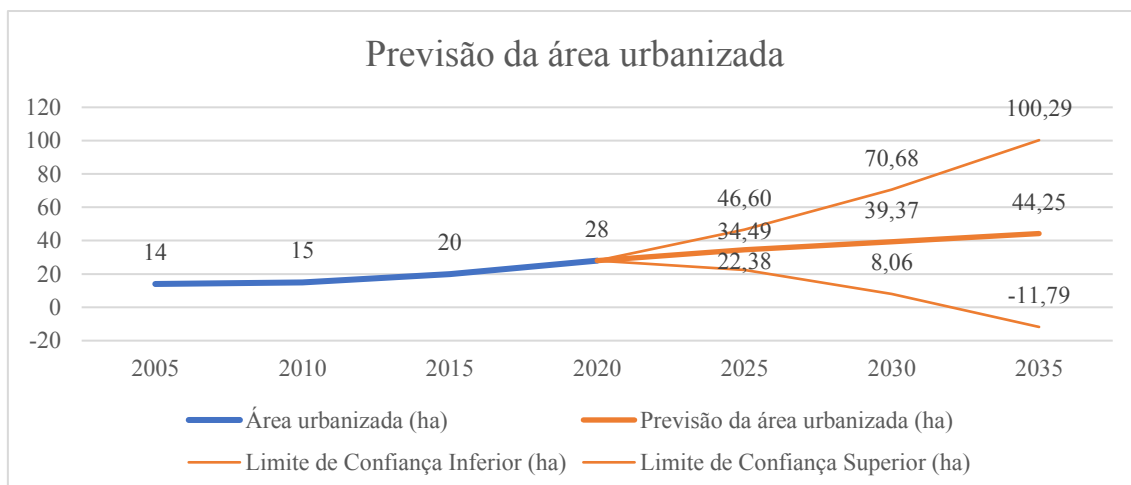
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 134 - Previsão de demanda de água de São José do Bonfim



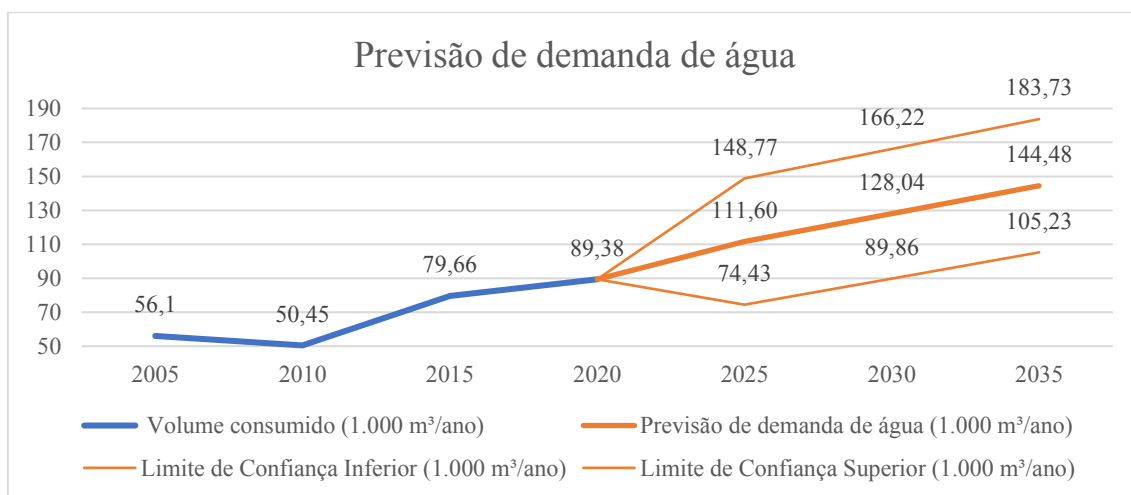
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 135 - Previsão da área urbanizada de São José do Bonfim



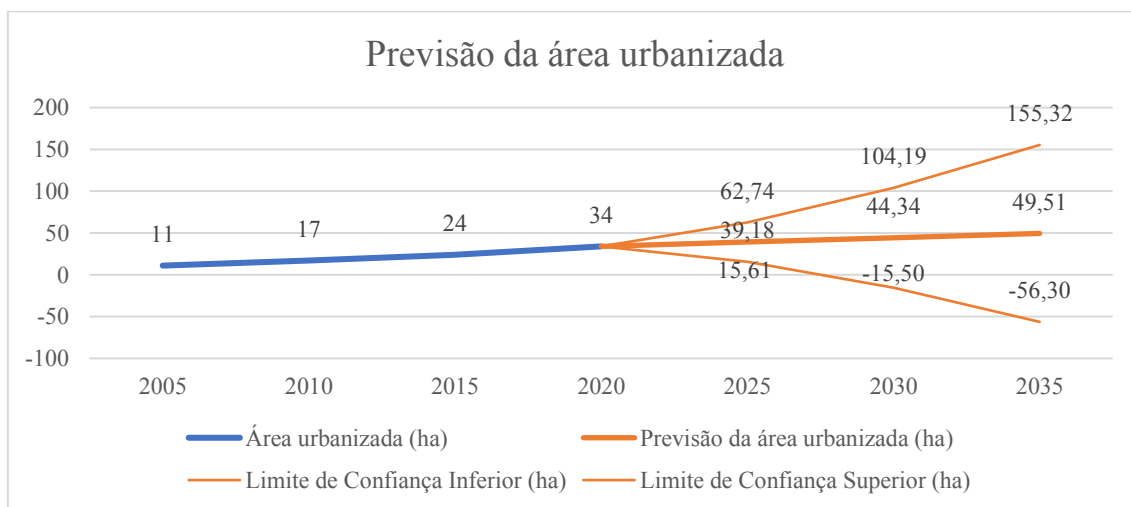
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 136 - Previsão de demanda de água de São José dos Ramos



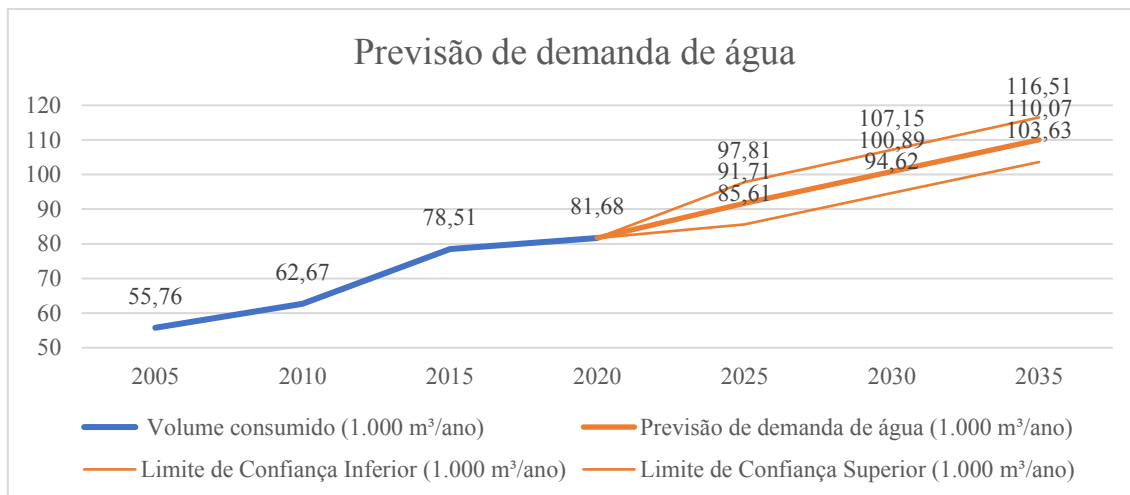
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 137 - Previsão da área urbanizada de São José dos Ramos



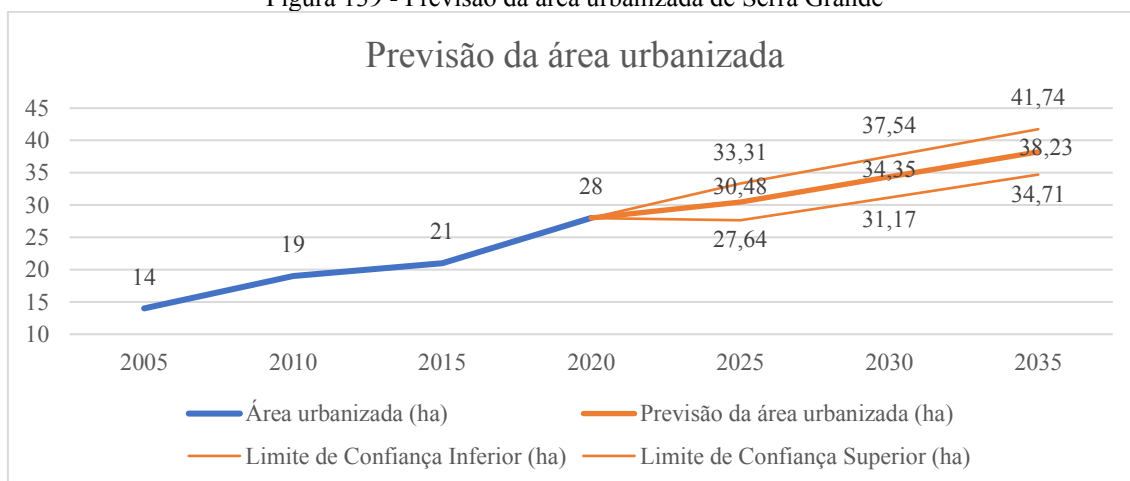
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 138 - Previsão de demanda de água de Serra Grande



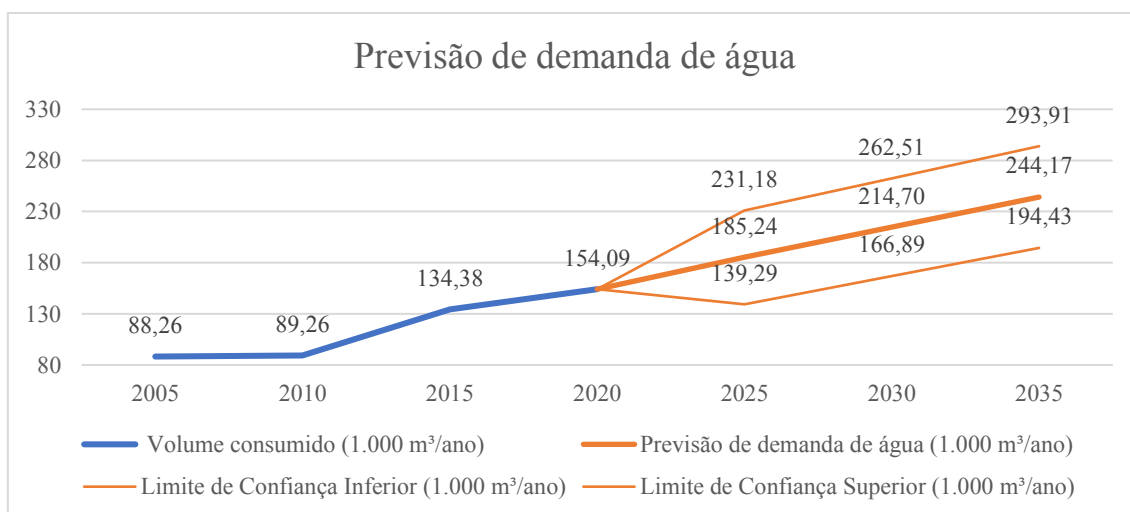
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 139 - Previsão da área urbanizada de Serra Grande



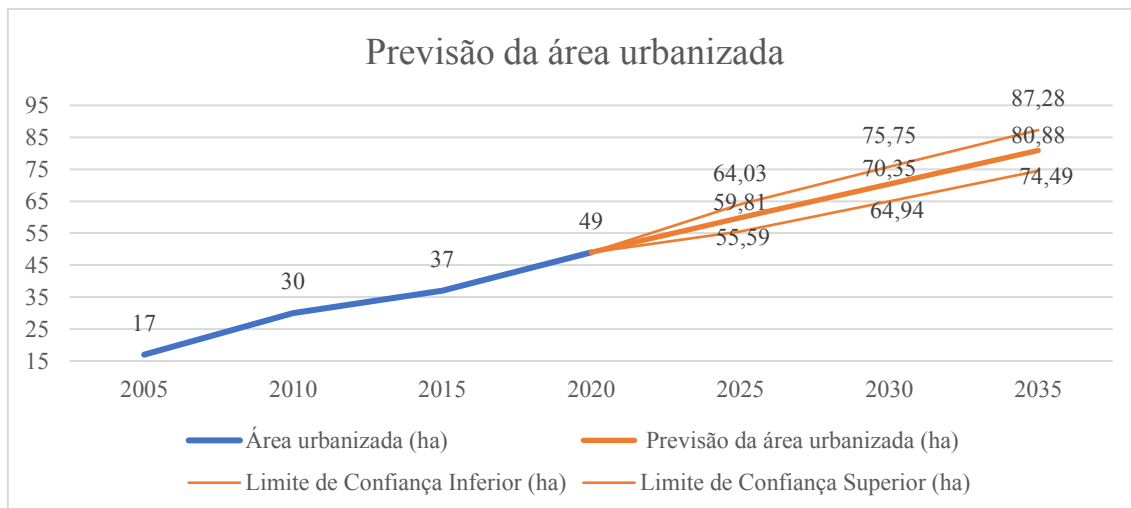
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 140 - Previsão de demanda de água de Sertãozinho



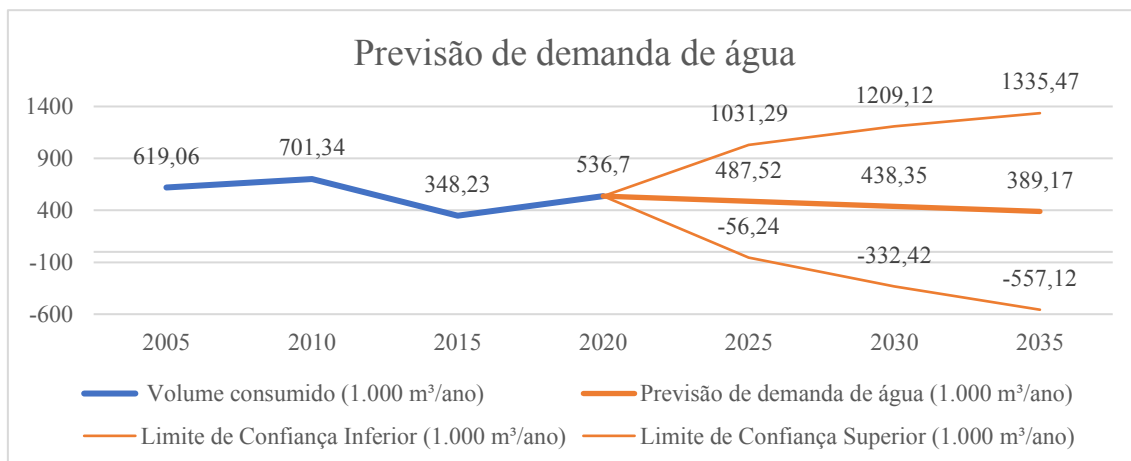
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 141 - Previsão da área urbanizada de Sertãozinho



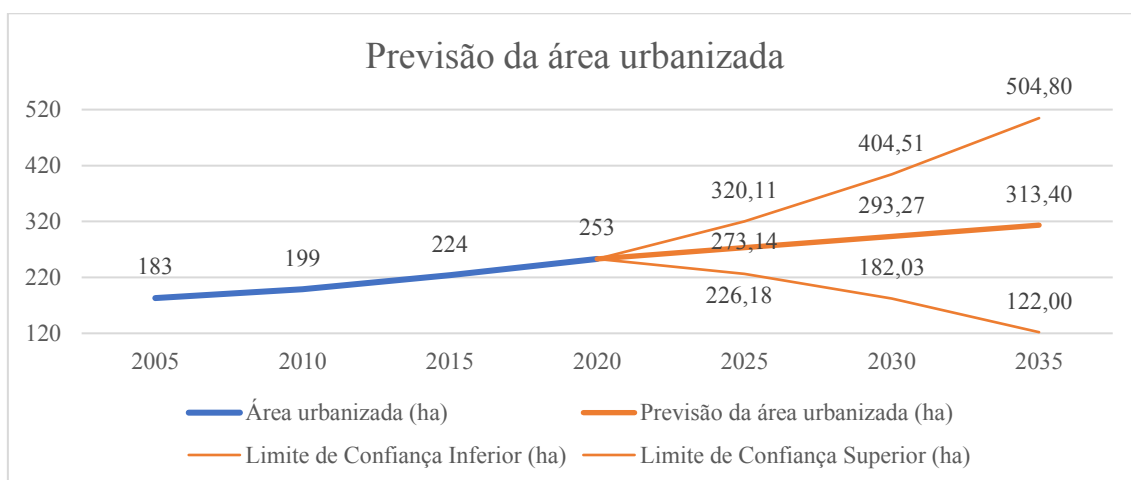
Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 142 - Previsão de demanda de água de Solânea



Fonte: Autoria própria (2023).

Figura 143 - Previsão da área urbanizada de Solânea



Fonte: Autoria própria (2023).