



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
CENTRO DE TECNOLOGIA - CTEC
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL



FERNANDO MARINHO PIRES DOS SANTOS

**TENDÊNCIAS DE DESLOCAMENTO POPULACIONAL NO CASO DE
AFUNDAMENTO DO SOLO EM MACEIÓ/AL E SEUS IMPACTOS NO
ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM LOCALIDADES RECEPTORAS DE
REALOCAÇÃO**

Maceió

2022

FERNANDO MARINHO PIRES DOS SANTOS

**TENDÊNCIAS DE DESLOCAMENTO POPULACIONAL NO CASO DE
AFUNDAMENTO DO SOLO EM MACEIÓ/AL E SEUS IMPACTOS NO
ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM LOCALIDADES RECEPTORAS DE
REALOCAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves

Maceió
2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

S237t Santos, Fernando Marinho Pires dos.
Tendências de deslocamento populacional no caso de afundamento do solo em Maceió/AL e seus impactos no abastecimento de água em localidades receptoras de realocação / Fernando Marinho Pires dos Santos. – 2022.
99 f. : il. color.

Orientador: Marllus Gustavo Ferreira Passos das Neves.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil)
– Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 95-97.
Apêndice: f. 98-99.

1. Sistema de abastecimento de água. 2. Perda de água. 3. Desabastecimento de água. 4. Água - Sistema de controle . I. Título.

CDU: 624: 628.1

AGRADECIMENTOS

Dedico esse Trabalho de Conclusão de Curso, bem como toda a minha trajetória acadêmica vivida até aqui no curso de Engenharia Civil e direciono meus agradecimentos:

Primeiramente Àquele sem o qual não haveria condições de realizar esse trabalho nem o sonho de conclusão do curso, Àquele que me deu a capacidade, persistência, inteligência e que foi minha principal fonte de refúgio nos momentos difíceis, ao Deus que me criou e se faz presente na minha vida em todos os momentos.

À meus pais Waldi Marinho e Evani Marinho que desde o início batalharam e se dedicaram ao máximo para que eu tivesse condições de seguir meus objetivos e realiza-los com êxito, fornecendo apoio constante em todas as áreas que precisei, me ensinando a cada dia o caminho que deveria andar.

Aos meus irmãos que estão perto, Matheus e Fernando Lima, que me animam a cada dia e me demonstram o amor de irmão sincero e verdadeiro; também aos meus irmãos que estão distantes Giovanni Stephann, Marcelo e Marcel que mesmo distantes fisicamente transmitem seu apoio quando necessário.

À minha noiva e logo em breve, esposa, Ewellyn que sempre deu ouvido às minhas queixas e sempre direcionou suas palavras e atitudes para me confortar em situações difíceis, por ser meu ponto de recarga, onde posso chegar com as baterias esgotadas pois sei que logo terei renovadas as energias para encarar novas lutas ao seu lado.

Aos meus amigos de curso e de vida, Alef, Arthur, Benno, Breno, Diogo, Felipe, José Matheus, Nemézio e Vinicius por estarem próximos nas dificuldades que enfrentamos juntos na graduação, sempre levando tudo com leveza e deixando o ambiente na Universidade muito mais agradável.

Ao meu orientador, professor Marllus Gustavo que me encorajou e direcionou a melhores caminhos deste trabalho. Também às pessoas a quem considero coorientadores deste trabalho, minha coordenadora Glaucia, que me direcionou e

ensinou com toda a paciência as particularidades do mundo do saneamento, me ajudando a me aproximar da área e me incentivando a me dedicar e priorizar a graduação em todo tempo; ao Wanderson da Silva, que inicialmente, mesmo sem me conhecer se dispôs a me ajudar e me acompanhar no desenvolvimento deste TCC abrindo mão de dias de folga e fins de semana para me dar o apoio; também à minha colega de trabalho Joana Karoline que me auxiliou e prontamente se dispôs a tirar minhas dúvidas, compartilhando seus conhecimentos.

Às minhas colegas de trabalho Mariana, Alexsandra, Ellen, Débora e Ingrid que convivem a rotina do escritório, compartilhando ideias e ouvindo as queixas do dia a dia, com muito bom humor e descontração, melhorando a rotina de trabalho.

Ao CTEC e a UFAL por fornecerem ensino de qualidade gratuito, fazendo parte da minha vida e sendo minha segunda casa durante os anos de graduação tão suados.

Por fim, a todos que me deram qualquer tipo de apoio e me possibilitaram chegar onde cheguei com simples gestos de apoio em todas áreas da minha vida.

RESUMO

Após a identificação de rachaduras no solo e em imóveis de bairros da capital alagoana – Maceió – em 2018, estudos geológicos apontaram o uso constante do solo para extração de sal gema como causa de desestabilização do solo, colocando assim milhares de pessoas residentes dos bairros do Pinheiro, Mutange, Bebedouro, Bom Parto e Farol em situação de vulnerabilidade, com o risco iminente de desabamentos das edificações da região. Inicia-se assim, um processo de realocação dos moradores para regiões seguras por recomendação da defesa civil. Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo analisar os impactos gerados no Sistema de Abastecimento de Água (SAA) causados pela mudança abrupta de demanda de consumo de água em localidades receptoras de realocação oriundas dos bairros afetados pelo incidente geológico do município de Maceió. Para tanto, a população e o sistema de abastecimento da região foram caracterizados através de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) e da Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL). Através da caracterização populacional, foi realizada estimativa de tendências de deslocamento da população migrante, estimando também o volume de demanda de água que será inserido por ela nos bairros receptores. O cadastro das redes de linhas-tronco de localidades receptoras foi traçado com o auxílio do software QGIS e exportado para o software EPANET, onde foram realizadas simulações dos cenários antigos e atuais, a fim de verificar as alterações causadas pela mudança de demanda. Os resultados da simulação retornaram que houve redução de pressão de 19,6% na Zona Alta 01; 16,6% no Sistema Aviação e 9,6% no Sistema Pratygy-R1; além disso, foi constatado aumentos de perda de carga de 9,6%; 6,8% e 9,2% nos respectivos sistemas citados. Tais resultados implicaram em situações tanto de desabastecimento quanto de perdas reais por vazamento. As estratégias utilizadas para redução de impactos foram de implementação de redes de reforço, adesão a projetos de expansão do sistema e aplicação de métodos de Controle Ativo de Vazamentos e Uso Racional da Água.

Palavras-chave: Sistema de abastecimento de água. Perdas de água. Desabastecimento. Pressões. Perda de carga. Emergências.

ABSTRACT

After the identification of cracks in the soil and in properties in neighborhoods of the capital of Alagoas – Maceió – in 2018, geological studies pointed to the constant use of the soil for extraction of rock salt as a cause of soil destabilization, thus placing thousands of people living in the neighborhoods of the Pinheiro, Mutange, Bebedouro, Bom Parto and Farol in a vulnerable situation, with the imminent risk of collapse of buildings in the region. Thus begins a process of relocating residents to safe regions on the recommendation of the civil defense. In this context, this work aims to analyze the impacts generated in the Water Supply System (SAA) caused by the abrupt change in water consumption demand in locations receiving relocation from neighborhoods affected by the geological incident in the municipality of Maceió. For that, the population and the supply system of the region were characterized through data from the Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE), the National Sanitation Information System (SNIS) and the Alagoas Sanitation Company (CASAL). Through population characterization, an estimation of trends of displacement of the migrant population was carried out, also estimating the volume of water demand that will be inserted by it in the receiving neighborhoods. The registration of trunk line networks of receiving locations was traced with the help of QGIS software and exported to EPANET software, where simulations of old and current scenarios were performed in order to verify the changes caused by the change in demand. The simulation results returned that there was a pressure reduction of 19.6% in the Upper Zone 01; 16.6% in the Aviation System and 9.6% in the Pratygy-R1 System; in addition, increases in pressure drop of 9.6% were observed; 6.8% and 9.2% in the respective systems mentioned. Such results imply in situations of both shortages and real losses due to leakage. The strategies used to reduce impacts were the implementation of reinforcement networks, adherence to system expansion projects and application of Active Leakage Control and Rational Water Use methods.

Key words: Water supply system. Water losses. Water shortage. Pressures. Head loss. Emergencies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Volume de água consumido e consumo de água per capita no município de Maceió - AL no período entre 2015 e 2020.	17
Figura 2: Classificação dos vazamentos.	20
Figura 3: Relacionamento entre a pressão e a frequência de arrebitamento nas redes de abastecimento.	21
Figura 4: Interações entre produção do espaço urbano e risco de desabastecimento de água.	24
Figura 5: Componentes de um sistema de distribuição de água.	26
Figura 6: Mapa de densidade de Kernel para os casos confirmados de COVID-19 na área urbana de Santa Maria, 05/06/2020 (n = 282).	28
Figura 7: Mapa de abairramento de Maceió – AL.	37
Figura 8: Faixa salarial de moradores do bairro Bebedouro em Maceió – AL.	38
Figura 9: Faixa salarial de moradores do bairro Mutange em Maceió – AL.	39
Figura 10: Faixa salarial de moradores do bairro Pinheiro em Maceió – AL.	40
Figura 11: Faixa salarial de moradores do bairro Farol em Maceió – AL.	41
Figura 12: Faixa de Desenvolvimento Humano.	42
Figura 13: IDHM Longevidade de Maceió – AL em 2010.	42
Figura 14: Expectativa de vida em anos da população de Maceió – AL.	43
Figura 15: IDHM Educação de Maceió – AL em 2010.	44
Figura 16: IDHM Renda de Maceió – AL em 2010.	45
Figura 17: Renda per capita da população de Maceió – AL em 2010.	46
Figura 18: IDHM de Maceió – AL em 2010.	47
Figura 19: Bairros compatíveis com IDHM do Perfil Social I.	49
Figura 20: Macrozoneamento Urbano de Maceió – AL.	52
Figura 21: Zoneamento Urbano de Maceió – AL.	53
Figura 22: Mapa de Mancha Urbana.	54
Figura 23: Mapa de Compatibilidade PS-I.	55
Figura 24: Mapa de Compatibilidade Final PS-I.	56
Figura 25: Bairros compatíveis com IDHM do Perfil Social II.	57
Figura 26: Mapa de Compatibilidade Final PS-II.	57
Figura 27: Densidade populacional de Maceió – AL.	59

Figura 28: Gráfico de volume consumido (m ³ /mês) na área afetada em janeiro de 2018 e junho de 2021	64
Figura 29: Traçado de linhas-tronco da Zona Alta 01 do bairro Benedito Bentes	67
Figura 30: Pressão dinâmica (mca) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário atual da Zona Alta 01	68
Figura 31: Perda de carga (m/km) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário atual da Zona Alta 01	69
Figura 32: Pressão dinâmica (mca) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário antigo da Zona Alta 01	70
Figura 33: Perda de carga (m/km) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário antigo da Zona Alta 01	70
Figura 34: Traçado de linhas-tronco do Sistema Aviação dos bairros Cidade Universitária e Santos Dummont.....	73
Figura 35: Pressão dinâmica (mca) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário atual do Sistema Aviação.....	74
Figura 36: Perda de carga (m/km) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário atual do Sistema Aviação.....	75
Figura 37: Pressão dinâmica (mca) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário antigo do	76
Figura 38: Perda de carga (m/km) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário antigo do Sistema Aviação.....	76
Figura 39: Traçado de linhas-tronco do Sistema Pratagy-R1 dos bairros Ponta Verde, Poço, Ponta da Terra, Pajuçara, Mangabeiras, Jatiúca e Cruz das Almas.....	79
Figura 40: Pressão dinâmica (mca) às 3h (à esquerda) e às 14h (à direita) no cenário atual do Sistema Pratagy-R1	80
Figura 41: Perda de carga (m/km) às 3h (à esquerda) e às 14h (à direita) no cenário atual do Sistema Pratagy-R1	81
Figura 42: Pressão dinâmica (mca) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário antigo do	82
Figura 43: Perda de carga (m/km) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário antigo do Sistema Pratagy-R1	82
Figura 44: Novo cenário de pressão dinâmica (à esquerda) e novo cenário de perda de carga (à direita) com adição de redes de reforço de ferro fundido 300mm	85

Figura 45: Destaque de nós que mais distam do reservatório RBB na Zona Baixa 01	86
Figura 46: Gráfico de série temporal de comportamento de pressões durante o dia nos nós destacados da Zona Alta 01 após a aplicação de redes de reforço	86
Figura 47: Estrutura da metodologia para implantação de PURA em edifícios	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Perdas reais por subsistemas – origens e magnitudes.	18
Tabela 2: Balanço hídrico proposto pela IWA	19
Tabela 3: Quadro resumo área útil de bairros compatíveis com PS-I	58
Tabela 4: Quadro resumo área útil de bairros compatíveis com PS-II	58
Tabela 5: Quadro resumo densidade populacional de bairros compatíveis com PS-I	59
Tabela 6: Quadro resumo densidade populacional de bairros compatíveis com PS-II	60
Tabela 7: Distribuição de realocação populacional PS-I	60
Tabela 8: Distribuição de realocação populacional PS-II	61
Tabela 9: Porcentagem de redução do volume de água consumido em janeiro de 2018 e junho de 2021	64
Tabela 10: Redução de consumo	65
Tabela 11: Volume de consumo de água distribuído entre os bairros compatíveis ..	65
Tabela 12: Resumo de reduções e acréscimos dos parâmetros considerado do cenário antigo para o atual.....	84

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AL	Alagoas
CASAL	Companhia de Saneamento de Alagoas
CPRM	Serviço Geológico Brasileiro
DMC	Distrito de Medição e Controle
ETA	Estação de Tratamento de Água
EPANET	Environment Protection Agency
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
NBR	Norma Brasileira
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
IWA	<i>International Water Association</i>
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
RNF	Reservatórios de Nível Fixo
RNV	Reservatórios de Nível Variável
VRP	Válvula Redutora de Pressão

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Caracterização do problema.....	13
1.2	Objetivo geral.....	15
1.3	Objetivos específicos	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Influência da demanda de consumo de água em um SAA.....	16
2.2	Causas e implicações das perdas de água em um SAA	17
2.3	Causas e implicações do desabastecimento em um SAA	22
2.4	Ferramentas computacionais de apoio	24
2.4.1	Simulação hidráulica utilizando o software EPANET	24
2.4.2	Ferramenta SIG para tratamento e interpretação de dados através do software QGIS	26
2.5	Elementos de um Sistema de Abastecimento de Água	28
3	METODOLOGIA.....	32
3.1	Levantamento de dados.....	33
3.2	Estudo de tendência de deslocamento da população dos bairros afetados	34
3.3	Avaliação de impactos através de simulação hidráulica	34
3.4	Proposição de estratégias para minimização dos impactos	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1	Caracterização da população em estudo.....	36
4.1.1	Características gerais do município de Maceió	36
4.1.2	Aspectos socioeconômicos dos bairros afetados	37
4.2	Tendências de deslocamento populacional em função da evacuação dos bairros afetados ...	48

4.2.1	Critério Socioeconômico	48
4.2.2	Critério Urbanístico	50
4.2.3	Critério Situacional.....	55
4.3	Caracterização do sistema de abastecimento de água em estudo.....	61
4.3.1	Características gerais do SAA de Maceió.....	61
4.3.2	Características do SAA dos bairros receptores.....	62
4.3.3	Demanda de consumo de água a ser transferida.....	63
4.4	Avaliação de impactos através de simulação hidráulica	66
4.4.1	Zona Alta 01 – Benedito Bentes	66
4.4.2	Sistema Aviação	72
4.4.3	Sistema Pratygy-R1	78
4.5	Estratégias para minimização dos impactos.....	84
4.5.1	Zona Alta 01 – Benedito Bentes	84
4.5.2	Sistema Aviação	86
4.5.3	Sistema Pratygy-R1	87
5	CONCLUSÕES.....	92
	REFERÊNCIAS	95

1 INTRODUÇÃO

1.1 Caracterização do problema

O papel essencial da água para a sobrevivência humana e para o desenvolvimento das sociedades é de conhecimento geral na atualidade. Neste quadro, as instalações para abastecimento de água devem ser capazes de fornecer água com qualidade, com regularidade e de forma acessível para as populações. Assim, os profissionais encarregados de planejar, projetar, implantar, operar, manter e gerenciar as instalações de abastecimento de água devem sempre ter presente essa realidade e devem ter a capacidade de considerá-la nas suas atividades (HELLER, 2010).

Os sistemas de abastecimento de água por sua extensão e configuração podem sofrer problemas técnicos importantes e também podem ser afetados por condições ambientais imprevisíveis, como os desastres. Os levantamentos de perdas econômicas provocadas por desastres naturais demonstram que estes sistemas de abastecimento de água estão entre as infraestruturas mais suscetíveis aos impactos de fenômenos naturais. Além dos prejuízos econômicos, a falta de água pós-desastre aumenta os riscos de surtos de doenças. Em uma situação de emergência, provocada por fenômenos de origem natural ou antropogênica, é imprescindível garantir água potável em quantidade e qualidade adequadas. Por esta razão, na gestão de abastecimento de água potável é preciso considerar as diferentes situações que podem provocar interrupções dos serviços. (NAVARRO-ROA, 2008)

No início do ano de 2018, após as fortes chuvas ocorridas em Maceió, capital alagoana, a Defesa Civil Municipal foi acionada por moradores do bairro do Pinheiro sob alegação de aparecimentos de rachaduras em imóveis e em vias do referido bairro. Segundo a CPRM (2019), historicamente, o bairro do Pinheiro já vinha apresentando inúmeras rachaduras e afundamentos em moradias e vias públicas. Outro evento agravante para a situação aconteceu em março de 2018. Um abalo sísmico de magnitude 2,4mR (escala de magnitude regional para o Brasil), ampliou as rachaduras e acendeu um alerta de que algo havia acontecido, levando a Defesa Civil Municipal a acionar a Defesa Nacional. Os danos ocorridos afetaram uma área expressiva do bairro, resultando na interdição de diversas moradias.

Apenas em maio de 2019 foi divulgado relatório com o resultado dos estudos realizados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, o qual apontava como causa dos danos nas vias e imóveis a subsidência do solo em virtude da desestabilização do terreno, essa decorrente, por sua vez, da extração de sal-gema pela empresa petroquímica Braskem (BRASIL, 2019), que atua no Estado de Alagoas desde 1976.

Constatou-se que está ocorrendo desestabilização das cavidades provenientes da extração de sal-gema, provocando halocinese (movimentação do sal) e criando, a princípio, uma situação dinâmica com reativação de estruturas geológicas preexistentes, subsidência e deformações rúpteis em superfície em parte dos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro (CPRM, 2019). Conseqüentemente, a rede de abastecimento de água foi danificada com os afundamentos e rachaduras ocorridas nos bairros citados, gerando assim um novo problema a ser considerado.

A utilização de ferramentas computacionais para realização de estudos direcionados para este tipo de problemática é essencial para que haja agilidade nos diagnósticos realizados, assim como maior precisão dos resultados obtidos.

Os recursos do SIG (Sistema de Informação Geográfica) oferecem ótimas ferramentas de apoio à decisão, com relativa simplicidade de operação e versatilidade na manipulação de dados georreferenciados; atualmente é amplamente utilizado em plataformas como o Google Maps, Uber, Google Earth dentre outros; e, por trazer informações georreferenciadas, permite a identificação precisa de pontos em qualquer local do globo terrestre. É, portanto, útil em diversas áreas como trânsito, transporte, infraestrutura, setor elétrico, telefonia e saneamento, pois pode informar com precisão a posição dos elementos que importam para cada uma destas, além de permitir a criação de mapas informativos com rapidez e eficiência.

Com um maior direcionamento para a área de saneamento e abastecimento, as ferramentas de modelagem fornecem modelos que retratam o sistema como um todo, representando as redes, nós, reservatórios, bombas etc. Ao simular a passagem de água por esses elementos, o programa retorna informações essenciais para que se faça o proveito máximo da eficiência de um sistema. Alguns destes parâmetros como pressão interna dos condutos, perda de carga e velocidade do fluido, permitem a tomada de decisão para o gerenciamento e otimização do sistema. O EPANET é atualmente a ferramenta de simulação hidráulica mais acessível de todas, pois conta

com disponibilização gratuita de utilização para fins acadêmicos ou comerciais, facilitando assim o processo de investigação de casos como o do presente trabalho.

Este trabalho se dá em consequência do estudo realizado por MORAES (2022) que desenvolveu análises dos efeitos causados no sistema de abastecimento das áreas diretamente afetadas pelo incidente, e vem a contribuir, em caráter de continuidade, para avanço na análise relacionada ao sistema de abastecimento de água, desta vez em localidades fora da área afetada geologicamente, porém que foram atingidas indiretamente ao receber consumidores advindos delas, mudando assim o cenário de consumo dentro dos seus respectivos setores.

Nesse contexto, o presente trabalho busca avaliar as mudanças causadas no SAA do município de Maceió, identificando as alterações no cenário após a constatação do desastre. Primeiramente: a) caracterizando e quantificando os moradores que precisaram se realocar para bairros distintos por determinação de segurança, bem como levantando dados que apontem seus respectivos destinos para que se possa analisar, no local de destino, a mudança de demanda de água gerada por essa massa populacional deslocada. Em seguida, b) será definido um setor de abastecimento ou bairro que se tenha indícios – identificados pelo item a) – de haver maior recebimento de consumidores oriundos dos bairros afetados, para que se estude com maior profundidade os impactos nele causados como a frequência de vazamentos, desabastecimentos e alteração de pressão nas redes. Fazendo uso das ferramentas SIG como o QGIS, bem como de ferramentas de simulação hidráulica como o EPANET para trazer à tona os tipos de gargalos que são gerados no caso em estudo e quais as melhores alternativas para a resolução deles, visando a preservação da saúde pública e qualidade do serviço essencial, que no caso, se trata do fornecimento de água à população.

1.2 Objetivo geral

O objetivo do presente trabalho é avaliar o impacto da realocação da parcela da população oriunda dos bairros de Maceió afetados pelo problema do afundamento do solo para outras localidades, no abastecimento de água destas, visando à proposição de estratégias para reduzir as implicações geradas.

1.3 Objetivos específicos

- Caracterizar, quantificar e identificar população deslocada das áreas de risco para outras regiões da cidade;
- Caracterizar o sistema de abastecimento, quantificar e redistribuir a demanda de consumo de água nas localidades com potencial de realocação;
- Avaliar a influência da mudança de demanda de uso de água utilizando simulação hidráulica e avaliando as variações de pressão e perdas de carga na rede, antes e depois dos eventos de afundamento.
- Propor meios para minimizar os impactos, avaliando alternativas a partir de alternativas viáveis.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Influência da demanda de consumo de água em um SAA

Para o planejamento e gerenciamento de sistemas de abastecimento de água, a previsão do consumo de água é um dos fatores de fundamental importância. A operação dos sistemas e as suas ampliações e/ou melhorias estão diretamente associados à demanda de água.

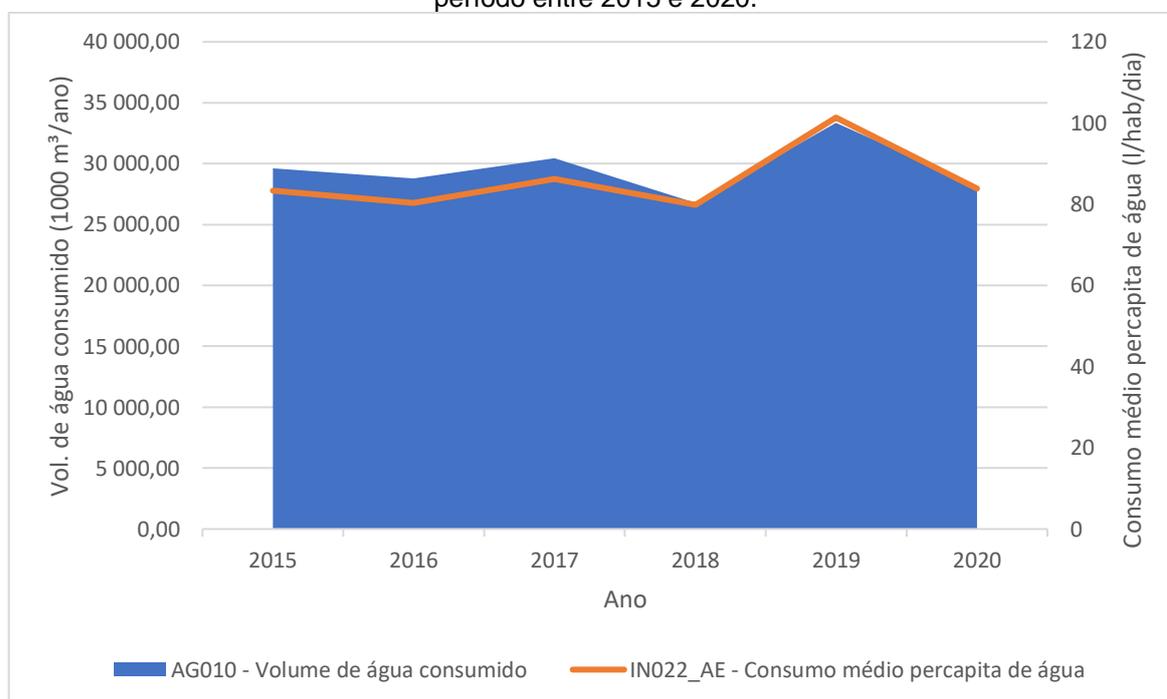
O dimensionamento das tubulações, estruturas e equipamentos são função das vazões de água, que por sua vez dependem do consumo médio por habitante, da estimativa do número de habitantes, das vazões de demanda, e de outros consumos que podem ocorrer na área de estudo (TSUTYIA, 2006).

Este conceito é muito importante na concepção e no projeto dessas instalações, pois a correta identificação dessa demanda é determinante para o dimensionamento racional de cada uma de suas unidades. Assim, devem ser estimadas todas as demandas a serem satisfeitas pelas instalações, considerando o período futuro de alcance do sistema e não apenas a realidade presente, e observadas as vazões corretas em cada uma de suas unidades. (HELLER, 2010)

A população do município de Maceió, segundo último censo do IBGE em 2010, é de 932.748 habitantes e tem estimativa de 1.031.597 habitantes em 2021, sendo cerca de 99,9% na área urbana. O índice de atendimento pelo abastecimento de água

é de 89,6% considerando-se toda a população e de 99,9% para a urbana (SNIS, 2020). Na Figura 1 é possível visualizar o volume total de água consumido pelo abastecimento no período de 2015 a 2020 e respectivos valores de consumos *per capita*.

Figura 1: Volume de água consumido e consumo de água per capita no município de Maceió - AL no período entre 2015 e 2020.



Fonte: SNIS (2015 a 2020).

2.2 Causas e implicações das perdas de água em um SAA

As perdas de água em sistemas de abastecimento de água são influenciadas por diversos fatores infraestruturais e operacionais. Estas dependem basicamente das características da rede hidráulica e de fatores relacionados às práticas de operação, do nível de tecnologia do sistema e da expertise dos técnicos responsáveis pelo controle dos processos. (BEZERRA, 2013)

A IWA *International Water Association* classifica as perdas, levando em conta sua natureza, como reais (físicas) ou aparentes (comerciais). As perdas reais equivalem ao volume de água perdido durante as diferentes etapas de produção: captação, tratamento, armazenamento e distribuição antes de chegar ao consumidor final. (OLIVEIRA, 2018). Já a perda aparente, de acordo com Tsutyia (2003) é

correspondente ao volume de água consumido, mas não contabilizado pela companhia de saneamento, decorrente de erros de medição nos hidrômetros e demais tipos de medidores, fraudes, ligações clandestinas e falhas no cadastro comercial.

Na Tabela 1 são apresentadas as origens e magnitudes das perdas reais associadas aos respectivos subsistemas.

Tabela 1: Perdas reais por subsistemas – origens e magnitudes.

	Subsistemas	Origens	Magnitudes
Perdas Reais (Físicas)	Adução de Água Bruta	Vazamento nas tubulações Limpeza do poço de sucção*	Variável, em função do estado das tubulações e da eficiência operacional
	Tratamento	Vazamento estruturais Lavagem de filtros* Descarga de lodo*	Significativa, em função do estado das tubulações e da eficiência operacional
	Reserva	Vazamentos estruturais Extravasamentos Limpeza*	Variável, em função do estado das tubulações e da eficiência operacional
	Adução de Água Tratada	Vazamentos nas tubulações, Limpeza do poço de sucção*, Descargas	Variável, em função do estado das tubulações e da eficiência operacional
	Distribuição	Vazamentos na rede Vazamentos em ramais Descargas	Significativa, em função do estado das tubulações e da eficiência operacional

* considera-se perdido apenas o volume excedente ao necessário para operação.

Fonte: Ministério das Cidades (2003)

Ainda conforme (OLIVEIRA, 2018), até alguns anos atrás, a metodologia de avaliação das perdas mudava entre países e empresas. A IWA procura padronizar o entendimento dos componentes dos usos da água em um sistema de abastecimento através do conceito de Balanço Hídrico. O Balanço Hídrico tem como parâmetro inicial o volume de água produzido que ingressa no sistema, o qual, no processo de distribuição, pode ser classificado como consumo autorizado ou perdas. O consumo autorizado faz referência ao recurso hídrico fornecido aos clientes autorizados (medidos ou não), enquanto as perdas correspondem à diferença entre o volume de entrada e o consumo autorizado.

A Tabela 2 mostra um resumo dos conceitos estabelecidos pela IWA para o balanço hídrico:

Tabela 2: Balanço hídrico proposto pela IWA

Volume de entrada no sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido (incluir água exportada) Consumo faturado não medido (estimados)	Água faturada
		Consumo autorizado não faturado	Consumo não faturado medido (usos próprios, caminhão pipa etc.) Consumo não faturado não medido (combate a incêndios, favelas etc.)	
	Perda de água	Perdas aparentes	Uso não autorizado (fraudes e falhas de cadastro) Erros de medição (micromedição)	Água não faturada
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição	
		Perdas reais	Vazamentos e extravasamentos em reservatórios Vazamentos em ramais prediais (a montante do ponto de medição)	

Fonte: IWA (2000)

As perdas reais são inerentes a todos os sistemas de abastecimento de água. Não é possível zerar este tipo de perda, porém o volume de perdas reais na maioria dos sistemas do Brasil é significativamente mais elevado do que o justificável. Os vazamentos podem ser classificados em três tipos: visíveis, detectáveis (não visíveis) e inerentes conforme Figura 2. Os vazamentos inerentes são denominados por alguns autores de “fugas” e representam toda a água perdida nos pequenos orifícios das tubulações, nas juntas das conexões, nas peças especiais de controle etc. Estes vazamentos não são visíveis e, na maioria das vezes, não são detectáveis. Apesar de possuírem baixa vazão, é comum que o volume perdido seja representativo nas perdas de água, em virtude destes vazamentos permanecerem por longos períodos de tempo. Estes pioram gradualmente até alcançarem o ponto em que podem ser detectados. A solução para a redução do volume perdido por vazamentos não detectáveis é o controle de pressão e a reabilitação da infraestrutura (BEZERRA, 2013).

Figura 2: Classificação dos vazamentos.

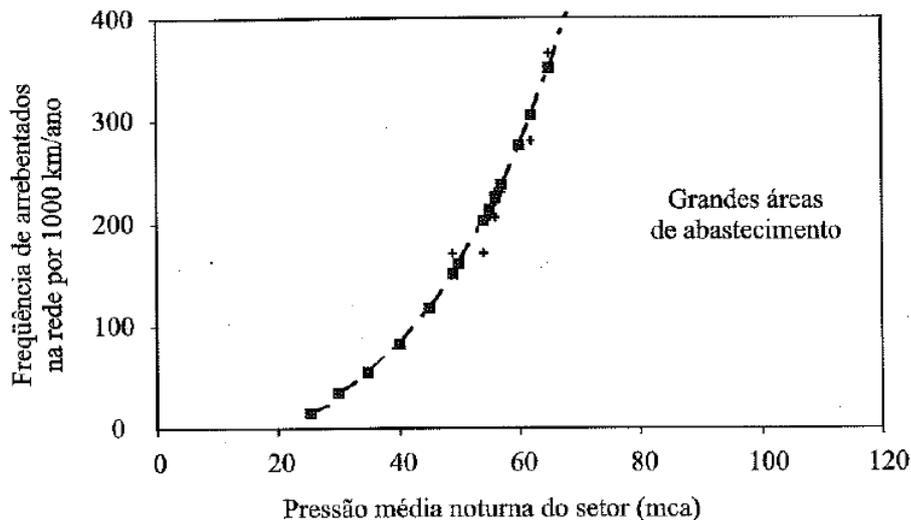
Fonte: Perdas de água Tecnologias de Controle (2013)

Para Tsutyia (2003), a pressão de serviço na rede de distribuição de água é o parâmetro operacional mais importante na vazão dos vazamentos e na frequência de sua ocorrência. A elevação da pressão de serviço nas redes de distribuição tem efeito duplo na quantificação dos volumes perdidos, pois além de aumentar a frequência de arrebentamentos, aumenta a vazão dos vazamentos.

Algumas redes de distribuição, especialmente ramais, são de materiais plásticos, polietileno ou PVC, cujos orifícios e rachaduras variam sua abertura em função da carga piezométrica reinante. Assim, quanto maior for a pressão, maior a área do furo, e mais significativa é a vazão perdida no vazamento.

Ensaio realizados no Reino Unido por Lambert (2002) para uma consultoria destinada à SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, demonstraram uma forte correlação entre a ocorrência de vazamentos e a pressão nas redes de abastecimento, como pode ser visto no gráfico apresentado abaixo na Figura 3.

Figura 3: Relacionamento entre a pressão e a frequência de arrebentamento nas redes de abastecimento.



Fonte: Lambert/SABESP (2002)

Considerando que, em uma rede de distribuição de água, os vazamentos dependem das pressões e que estas variam ao longo do dia e que, além disso, as demandas também dependem das pressões, a eficiência hidráulica pode não ser a mesma em períodos diurnos, sob demandas elevadas e pressões baixas, e em períodos noturnos, sob demandas baixas e pressões elevadas. Reconhece-se, portanto, a necessidade da previsão do comportamento das redes sob as mais diversas condições operacionais, que incluem níveis dos reservatórios, demandas, status de componentes como válvulas, bombas e outros. Tais previsões só podem ser realizadas a contento com o suporte de modelos matemáticos que descrevam adequadamente as leis físicas que regem o escoamento no interior dos condutos, bem como demandas e vazamentos, especialmente se a parcela relativa a estes últimos for expressiva (SOARES, 2003).

De acordo com Bezerra (2013), por melhor que seja a gestão de um sistema de distribuição de água, as perdas não podem ser eliminadas totalmente, ou seja, não existe “perda zero” de água. O volume mínimo de perdas de água que um sistema pode ter é chamado de perdas inevitáveis. A diferença entre a perda existente e a perda inevitável representa o volume de perdas potencialmente recuperável. No caso das perdas reais, não há como tornar uma rede 100% estanque. O reparo de todos os vazamentos detectáveis não isenta as redes de abastecimento das perdas inerentes, que continuam ocorrendo nos registros, hidrantes, juntas, tubulações etc.

Contudo, é necessário que a busca por otimização dos indicadores de perdas de água no abastecimento seja constante, por parte das companhias, dentro dos limites econômicos viáveis de modo a trazer benefícios para a população atendida, assim como retornos economicamente positivos para a companhia, conforme Tsutyia (2003), o sucesso das ações contínuas para a redução de perdas nas companhias de saneamento leva aos seguintes resultados:

- Melhor performance econômica da companhia, revertendo tal benefício em tarifas mais baixas aos clientes;
- Postergação de novos investimentos na ampliação de sistemas de produção, adução e reservação de água.

Cada sistema de distribuição de água possui diferentes tipos e graus de perda e cada um tem as ações mais apropriadas. É importante que, conjuntamente com a análise econômica, as alternativas técnicas sejam identificadas e hierarquizadas. Estas alternativas devem considerar as peculiaridades locais e a sustentabilidade econômica e técnica da solução adotada (BEZERRA, 2013).

2.3 Causas e implicações do desabastecimento em um SAA

Considerando-se que as instalações urbanas de abastecimento de água devem ser projetadas de modo a garantir o fornecimento hídrico com qualidade, regularidade e de forma acessível à população (HELLER, 2006) a ocorrência de desabastecimento de água, muito comum no Brasil, se caracteriza como uma falha do sistema e trás, na maioria das vezes, prejuízos e transtornos para os usuários do serviço de abastecimento público.

Os debates atuais relativos aos riscos de desabastecimento de água concentram-se principalmente em abordagens baseadas em critérios de engenharia, como o desequilíbrio entre o crescimento urbano e o provimento de infraestrutura (HAMER, 2018).

O crescimento das cidades acarreta efeitos negativos nos balanços hídricos, em decorrência da retirada de vegetação da bacia hidrográfica, ao acelerado processo de

impermeabilização do solo e às alterações nas redes de drenagem (ANTROP, 2004; HAASE, 2009).

No contexto urbano, os sistemas de água e de saneamento compreendem uma estreita relação entre si, uma vez que a garantia do abastecimento urbano depende tanto da conservação dos recursos hídricos quanto da melhoria dos serviços de saneamento. Paralelamente a esta relação, a resposta para o aumento das pressões sobre os recursos hídricos nas áreas urbanas é, tradicionalmente, pautada nas expansões de oferta hídrica, que, na maioria das vezes, compreende a construção de grandes obras hidráulicas, o que implica uma preocupação não apenas do ponto de vista econômico, mas também ambiental.

O estudo de caso realizado em Campina Grande por Marinho (2021), obteve conclusões significativas nas análises das relações existentes entre a produção do espaço urbano e o risco de desabastecimento de água do município, localizado no estado da Paraíba, Nordeste do Brasil, realizando uma análise comparativa entre os anos de 2000 e 2010. Mostra-se como exemplo representativo o bairro Catolé, que passou por um processo dinâmico de urbanização nas últimas três décadas, porém não seguido de um plano de ocupação e controle de adensamento. Esse processo provocou intensa verticalização e adensamento desigual, não apresentando a mesma proporção na expansão da infraestrutura de abastecimento de água. Essa desproporção gera no sistema de abastecimento de água baixas pressões, devido ao alcance cada vez menor de redes e reservatórios e capacidade de reservação do sistema incompatível com a demanda.

Ainda conforme Marinho (2021) a metodologia utilizada para este tipo de conclusão seguiu as etapas de levantamento do perfil histórico da região estudada, bem como a sua perspectiva futura de produção do espaço urbano, em que se aponta os crescimentos de residências e comércios, que conseqüentemente gerarão um aumento de demanda do recurso hídrico para o local. Em seguida a partir do levantamento da etapa anterior, realizou-se uma análise baseada no risco de desabastecimento de água, considerando os seguintes critérios: altimetria (AL), população (PO), distância ao reservatório de distribuição (DR) e número de domicílios atendidos pela rede (ND); a esses critérios foram atribuídas ponderações específicas, onde a ponderação de cada critério foi avaliada segundo métodos heurísticos. A formalização da ponderação baseou-se em conhecimento especializado (JOHNS;

KEEDWELL), por meio de testes de sensibilidade utilizando visões e experiências individuais de quatro pesquisadores e engenheiros com ampla experiência em redes hidráulicas.

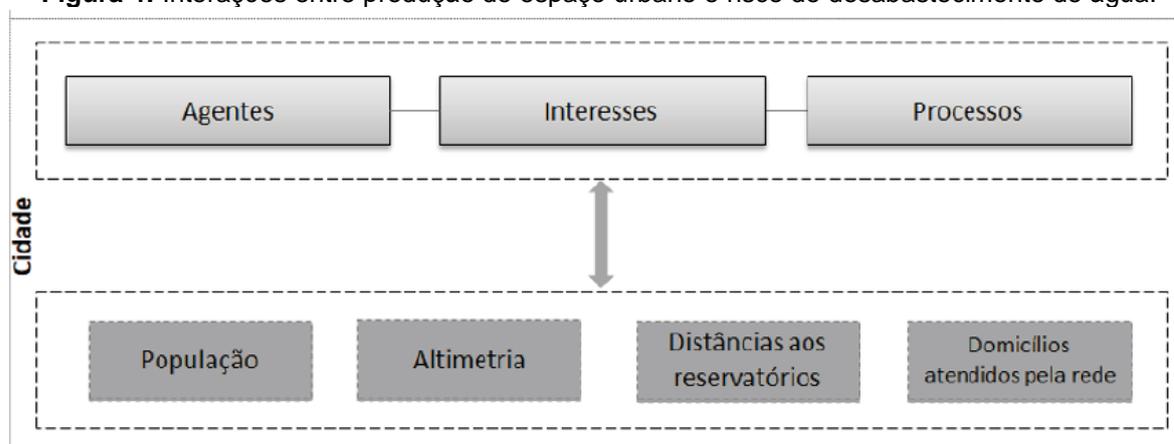
Os pesos finais foram obtidos após a concordância entre todos os especialistas consultados, conforme Equação 2.10.

$$Risco = (0,4 * AL + 0,2 * PO + 0,2 * DR + 0,2 * ND) * LOTES \quad (2.10)$$

O termo LOTES é uma variável binária e restritiva da função do risco de desabastecimento, ou seja, a análise se restringiu à presença de lotes urbanos.

As etapas utilizadas na metodologia são representadas na Figura 4

Figura 4: Interações entre produção do espaço urbano e risco de desabastecimento de água.



Fonte: Marinho (2021)

2.4 Ferramentas computacionais de apoio

2.4.1 Simulação hidráulica utilizando o software EPANET

A modelagem hidráulica dos sistemas de distribuição de água é um instrumento eficiente para o combate às perdas de água, pois permite aos técnicos analisarem o impacto das possíveis estratégias (reabilitação, setorização, instalação de válvulas redutoras de pressão etc.), a partir de cenários previamente definidos. De forma geral, os modelos hidráulicos permitem (LENS/UFPB, 2009):

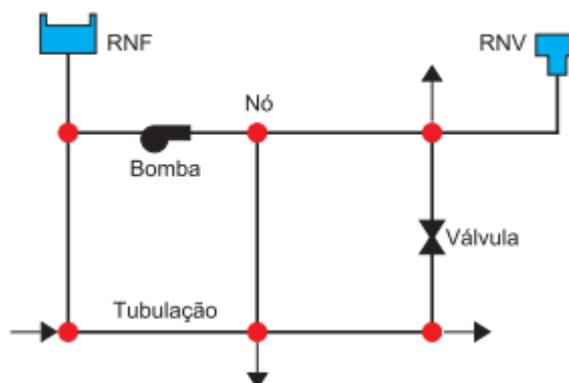
- Conhecimento das grandezas hidráulicas (vazão, pressão e perda de carga) para os diversos cenários de interesse.

- Avaliar o comportamento da qualidade da água ao longo da rede.
- Estimar os valores de perdas por vazamentos nas redes hidráulicas.
- Analisar previamente o impacto de ações na redução das perdas de água e no consumo de energia.
- Definição dos procedimentos operacionais dos sistemas.
- Adoção de métodos de otimização e de sistemas de suporte à decisão.
- Avaliação de ações de reabilitação e ampliação do sistema.
- Manter os dados do sistema registrados, eliminando a necessidade constante de consultar os técnicos mais antigos.

Atualmente, o modelo hidráulico de maior facilidade de aquisição, nos meios acadêmicos e empresariais é o EPANET. Trata-se de um programa de computador que permite executar simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico e de qualidade da água em redes de distribuição pressurizada. Uma rede é constituída por tubulações, bombas, válvulas, reservatórios de nível fixo e/ou reservatórios de nível variável. O EPANET permite obter os valores da vazão em cada tubulação, da pressão em cada nó, da altura de água em cada reservatório de nível variável e da concentração de espécies químicas através da rede durante o período de simulação, subdividido em múltiplos intervalos de cálculo. Adicionalmente, além de espécies químicas, o modelo simula o cálculo da idade da água e o rastreamento da origem de água em qualquer ponto da rede (LENS/UFPB, 2009).

Através do EPANET pode-se modelar um sistema de distribuição de água utilizando os critérios definidos pelo software para montar um esquema representativo como sendo um conjunto de trechos (linhas) ligados a nós (pontos), em que os trechos representam as tubulações, bombas e válvulas de controle e os nós representam conexões, reservatórios de nível fixo (RNF) e reservatórios de nível variável (RNV), conforme Figura 5.

Figura 5: Componentes de um sistema de distribuição de água.



Fonte: LENHS (2009)

Ao se inserir os componentes que compõem o SAA, deve-se alimentar o modelo com os dados de entrada referentes a: cota de terreno, consumo base e qualidade inicial da água; estes são inseridos nos elementos de **nó**, obtendo-se os resultados de carga hidráulica total, pressão e qualidade da água. Também deve-se inserir dados relativos aos **trechos** ou tubulações, tais quais: nó inicial e final, diâmetro, comprimento e coeficiente de rugosidade, obtendo como resultados a vazão, velocidade e perdas de carga.

2.4.2 Ferramenta SIG para tratamento e interpretação de dados através do software QGIS

O termo Sistema de Informação Geográfica (SIG) pode ser definido como um sistema automatizado de coleta, armazenamento, manipulação e saída de dados espaciais (BURROUGH e MCDONNELL, 1998). Existem hoje diversos softwares capazes de executar técnicas de geoprocessamento de dados a partir da aplicação de modelos SIG. Nesse cenário, o QGIS tem ganhado destaque em função dos seus benefícios, pois trata-se de um software livre e de código aberto.

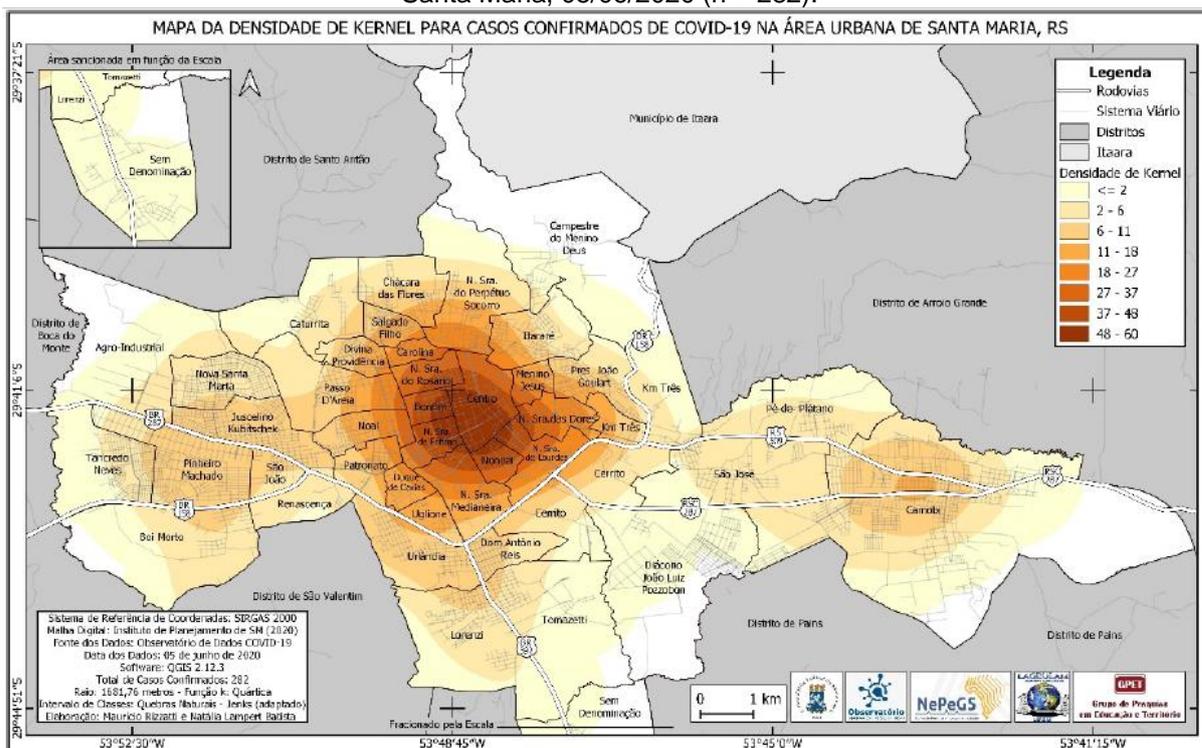
O QGIS pode ser utilizado por profissionais de diversas áreas, no estudo do sistema de abastecimento de água, por exemplo, o programa possui ferramentas que permitem a visualização, gestão, edição, análise de dados e criação de mapas para impressão. Os projetos desenvolvidos no QGIS são constituídos por diversas camadas (layers) sobrepostas que representam informações como redes de água, curvas de nível, loteamentos urbanos, uso do solo, arruamentos, imagens de satélite,

entre outras, e que podem ser ligadas e desligadas de acordo com as necessidades do usuário.

Uma funcionalidade muito útil que pode ser explorada dentro do QGIS para interpretação de dados e posterior diagnóstico de problemas é a utilização de mapas de calor, também conhecidos como densidade de Kernel. Este, consiste em quantificar as relações dos pontos dentro de um raio (R) de influência, com base em determinada função estatística, analisando os padrões traçados por determinado conjunto de dados pontuais, estimando a sua densidade na área de estudo (BERGAMASCHI, 2010). Tal ferramenta pode ser utilizada em áreas diversas com finalidade variadas, como por exemplo em uma análise populacional, onde se monitora o IDH de uma determinada região, ou ainda, para análise de concentração populacional em grandes centros urbanos; direcionando para a área de saneamento, pode-se verificar pelo mapa de calor a demanda de consumo de água por consumidor, ou ainda, a concentração de vazamentos registrados em um determinado período de tempo.

Para fins de exemplificação, o trabalho realizado por (RIZZATTI, 2020) mapeando os casos de covid-19 demonstram a utilidade da ferramenta. A metodologia apresentada tem como produto o mapa da Figura 6 que representa a densidade de Kernel para os casos confirmados de COVID-19 na área urbana de Santa Maria, utilizando dados de 05 de junho de 2020 (n = 282). Pode-se observar uma maior densidade de casos na área central da cidade, especificamente nas proximidades dos bairros Centro, Bonfim, Nossa Senhora de Fátima e Nonoai, com uma maior circulação de pessoas, serviços e residentes. Porém, nota-se a dispersão do novo Coronavírus para áreas mais periféricas;

Figura 6: Mapa de densidade de Kernel para os casos confirmados de COVID-19 na área urbana de Santa Maria, 05/06/2020 (n = 282).



Fonte: Rizzatti e Batista (2020).

Para os testes realizados com a metodologia proposta, utilizaram-se dados de Santa Maria com diferentes datas, verificou-se que o número de pontos é inversamente proporcional ao tamanho do raio (R) adotado, ou seja, quanto menos casos confirmados, maior o raio adotado para ter representatividade dos clusters.

Dessa maneira, portanto, a ferramenta de Kernel se mostra instrumento eficaz para o mapeamento de casos de COVID-19, pois apresenta a concentração dos fenômenos no espaço. No entanto, deve-se definir corretamente o raio de interpolação dos dados para que haja representatividade dos dados e que seja coerente com a realidade geográfica que se está trabalhando.

2.5 Elementos de um Sistema de Abastecimento de Água

O SAA dispõe de componentes fundamentais para o seu pleno funcionamento e suprimento das necessidades dos consumidores do serviço de abastecimento. Destacam-se aqui alguns destes, enfatizando suas funções, conceitos e importância dentro do sistema como um todo. (HELLER, 2010):

2.5.1 Captação

2.5.1.1 Superficial

Conjunto de estruturas e dispositivos construídos ou instalados junto a um rio, ribeirão, córrego ou lago, para a retirada de água destinada ao abastecimento de comunidades humanas. Uma das partes mais importantes de um serviço de água potável é o seu manancial e a respectiva captação de suas águas. Isso porque, da escolha judiciosa e da proteção efetiva do manancial, e também da correta construção e operação de seus dispositivos de captação, depende o sucesso das demais unidades do sistema no que se refere tanto à quantidade como à qualidade da água a ser disponibilizada aos consumidores.

2.5.1.2 Subterrânea

Os mananciais subterrâneos podem ser divididos em duas categorias: os naturais ou aflorantes, que compreendem as fontes, nascentes ou “minas” de qualquer tipologia, nas quais a água alcança a superfície por ação de processos ligados à dinâmica terrestre; e os captados por obras diversas, tais como poços, galerias, drenos etc. A seleção desses mananciais para atendimento público dos diferentes tipos de uso da água, entre os quais o abastecimento público, depende dos fatores hidrogeológicos locais e regionais.

No Brasil, muitas cidades são abastecidas por esses mananciais, captados por meio de poços tubulares profundos. Na região Sul, Sudeste e parte do Centro-Oeste, cidades de pequeno e médio porte, são abastecidas, integralmente, pelas águas subterrâneas captadas pelo Aquífero Guarani.

2.5.2 Adutora

As adutoras são condutos – tubulações ou canais – encarregados do transporte de água entre unidades do sistema de abastecimento que precedem a rede de distribuição. Assim, as adutoras interligam a captação à estação de tratamento de água e desta aos reservatórios. Quando as adutoras são derivadas de outras, sem

distribuição de água para os consumidores, são chamadas subadutoras. Outra forma de classificar as adutoras diz respeito à natureza da água transportada. Assim, quando antecedem a estação de tratamento de água são denominadas de adutoras de água bruta, e após receber o tratamento, por adutora de água tratada.

2.5.2.1 Adução por gravidade

A adução por gravidade constitui no meio mais seguro e econômico de se transportar a água, pois utiliza-se do desnível natural do terreno para conduzir, por gravidade a vazão necessária entre os pontos a serem interligados.

2.5.2.2 Adução por recalque

Contudo, nem sempre existe um desnível suficiente para condução da água. Nesses casos, elevatórias são necessárias e as adutoras a elas interligadas são classificadas como adutoras por recalque.

2.5.3 Estações Elevatórias

Tendo em vista a economia de energia e outros fatores mais, seria desejável que os escoamentos fossem inteiramente por gravidade. Contudo, algumas vezes, os locais a serem atendidos estão em pontos altos ou muito afastados das fontes de abastecimento de água. Deste modo, as elevatórias tornam-se essenciais na captação, adução, tratamento e rede de distribuição de água, para conduzir o líquido a cotas mais elevadas, ou para aumentar a capacidade de adução do sistema.

As elevatórias, quando destinadas a conduzir águas não tratadas, denominam-se elevatórias de água bruta. Caso contrário, são denominadas elevatórias de água tratada e normalmente são instaladas após as estações de tratamento de água para o bombeamento do líquido até os reservatórios.

2.5.4 Estação de Tratamento

Nos sistemas de abastecimento de água, tem-se como objetivo final disponibilizar água potável aos usuários, de forma contínua e em quantidade e pressão adequadas. A estação de tratamento de água (ETA) realiza técnicas de potabilização, ou seja, de tratamento da água bruta antes de sua distribuição, para que a água não ofereça riscos sanitários à população. Dentre as etapas de tratamento executadas por uma ETA pode-se destacar de maneira geral: micropeneiramento, oxidação, coagulação, floculação, decantação, flotação, filtração, desinfecção, fluoretação, estabilização química etc. A definição para quais dessas etapas serão utilizadas no processo é critério de cada projeto de ETA, de acordo com o estudo prévio da qualidade da água bruta que será tratada por ela.

2.5.5 Reservatórios de distribuição

As unidades de reservação são tradicionalmente concebidas e operadas enfocando como objetivos principais (i) a regularização entre vazões de adução e distribuição, (ii) o condicionamento das pressões na rede de distribuição, bem como quando necessário, (iii) a reserva para combates a incêndios e outras situações emergenciais.

Adicionalmente, uma vez que na maioria significativa dos sistemas a adução de água tratada ocorre por meio de instalações elevatórias, as unidades de reservação permitem menores variações nas vazões de recalque e o desenvolvimento de estratégias passíveis de reduzir consumo de energia elétrica, frequentemente interrompendo a adução nos períodos do dia de maior tarifa.

2.5.6 Redes de distribuição

Rede de distribuição é a unidade do sistema de abastecimento de água constituída por tubulações e órgãos acessórios instalados em logradouros públicos, e que tem por finalidade fornecer, em regime contínuo (24h por dia), água potável em quantidade, qualidade e pressão adequadas a múltiplos consumidores (residenciais,

comerciais, industriais e de serviços) localizados em uma cidade, vila ou outro tipo de aglomeração urbana.

A denominação rede de distribuição provém da forma como as suas tubulações são instaladas, formando rede de condutos interligados entre si e possibilitando diversas derivações para a distribuição da água portátil aos imóveis abastecidos.

A importância da rede de distribuição deve-se a duas características de grande relevância a ela associadas, quais sejam:

- Característica de garantir, como derradeira unidade do SAA, que a água produzida e veiculada pelas unidades anteriores chegue até os seus consumidores finais sem a deterioração de sua qualidade e com a quantidade, pressão e continuidade estabelecidas pela boa técnica e pelas normas oficiais aplicáveis.
- Característica de constituir-se, geralmente, na mais extensa unidade do sistema, responsável, em geral por mais de 50% do seu custo de implantação.

Uma rede de distribuição mal projetada ou mal operada é permanente fonte de problemas, mormente no que tange a perdas de água, ao comprometimento da qualidade da água e a reclamações dos usuários.

3 METODOLOGIA

As etapas deste trabalho resumem-se em: primeiramente, caracterização populacional dos bairros afetados e do município de Maceió como um todo, com a finalidade de comparar as regiões e obtenção de mapa de compatibilidade que expresse a tendência de deslocamento da população afetada; em seguida, de posse das localidades estimadas com potencial de deslocamento, foram caracterizados os sistemas de abastecimento locais que receberam as demandas de consumo de água da população migrante, além de ter sido contextualizado o sistema de abastecimento geral de Maceió como um todo; em seguida, utilizando modelos de simulação hidráulica, foram simuladas as alterações que a transferência das demandas causaram nos sistemas locais receptores; por fim, analisando os resultados obtidos nas simulações, foram propostas medidas que amortizem os impactos constatados,

prezando pelo bom funcionamento do sistema. Em seguida apresenta-se o detalhamento de cada uma destas etapas.

3.1 Levantamento de dados

O levantamento de dados para a caracterização da população da área em estudo, foram obtidos através do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para identificação, por bairros, de perfis socioeconômicos, densidade de habitantes por quilômetro quadrado, número de habitantes e renda per capita. O índice de desenvolvimento humano (IDM) também foi levantado, através do PNUD, Ipea, FJP (2015).

Com relação à caracterização do sistema de abastecimento de água, a descrição teve como base o Plano de Saneamento Básico de Maceió bem como as informações cedidas pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) por meio de modelos hidráulicos, documentos, plantas e cadastros técnicos. Além disso, reuniões realizadas com servidor da CASAL que desempenha a função de Supervisor de Gestão de Perdas foram também utilizadas para levantamento de informações pertinentes ao SAA do município. Associando essas informações ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) para estimativa de demanda de água por habitante nas regiões sob estudo, fazendo uso também da literatura.

O software QGIS foi utilizado como ferramenta para elaboração dos mapas temáticos com a finalidade de auxiliar na melhor compreensão espacial das informações expostas, tomando como base arquivos *shapefile* retirados de plataformas oficiais, como a página do Governo de Alagoas e portal do IBGE.

Para a etapa de estimativa de tendências de deslocamento, além de se basear nos levantamentos realizados na caracterização da população, fez-se uso de mapas de zoneamento urbano retirados do Plano Diretor de Maceió, instituído pela Lei Municipal Nº 5486 de 30/12/2005 e do Código de Urbanismo e Edificações instituído pela Lei Municipal Nº 5.593, de 08/02/2007.

Para a realização das simulações, foram desenvolvidos modelos hidráulicos através do *plugin* do QGIS chamado QWater, em conjunto com o servidor da CASAL, Supervisor de Gestão de Perdas. Utilizou-se das informações por ele fornecidas para realização do traçado das redes referentes às chamadas linhas-tronco (redes

primárias e adutoras). Nos modelos foram importados arquivos de padrões de consumo que já dispunham dos fatores de multiplicação contabilizados, sendo estes constatados por estudos da companhia. O restante dos parâmetros (níveis de reservatórios; diâmetro, material, coeficiente de rugosidade e extensão de redes além das curvas de nível com cotas do terreno) foram sendo inseridos simultaneamente à criação do modelo, sendo informados pelo colaborador da CASAL.

3.2 Estudo de tendência de deslocamento da população dos bairros afetados

Nesta etapa, utilizaram-se os dados levantados na etapa de caracterização da população para identificar as tendências de deslocamento da população da área afetada. Foram utilizados três critérios base para a estimativa de realocação dos moradores: socioeconômico, que considera os IDHMs para compatibilizar os perfis sociais identificados nas áreas afetadas, nomeados como PS-I e PS-II com perfis em outras localidades do município; urbanístico, que considera os zoneamentos, macrozoneamentos e mancha urbana advindos do Plano Diretor Municipal e do Código de Urbanismo e Edificações para traçar as áreas com capacidade urbana de infraestrutura para receber novos moradores e, por fim, o critério situacional, que considera o contexto do desastre ambiental ocorrido além de fatores logísticos, como por exemplo, a inviabilidade de realocação para regiões muito distantes.

Em seguida, foram elaborados mapas para representação visual das áreas estudadas do município. Após definição dos bairros compatíveis, foi realizada a estimativa de distribuição da população realocada entre eles, definindo uma porcentagem específica para cada bairro, pois é razoável que haja áreas que recebam mais realocações e outras, menos.

3.3 Avaliação de impactos através de simulação hidráulica

Os sistemas locais modelados resumem-se às redes primárias e adutoras, que são as responsáveis pelo abastecimento de um subsetor ou DMC levando a água até os pontos de distribuição que entregam o fornecimento às redes secundárias. Esses sistemas locais trabalham de maneira isolada dos outros sistemas, com suas próprias fontes de fornecimento de água (reservatórios e poços), além de terem a característica

de estanqueidade, ou seja, não se comunicam com os sistemas locais vizinhos. A calibração do modelo foi realizada com base nos conhecimentos de campo e dados averiguados pelo colaborador da CASAL durante a elaboração do modelo, sem mais utilização de critérios adicionais. Assim, contou-se basicamente com o auxílio técnico do mesmo para as averiguações dos parâmetros dos modelos e confirmação que estavam todos de acordo com as especificações técnicas

O uso de simulação hidráulica se fez necessário para a comparação dos resultados anterior e posterior à migração ocorrida. O processo realizado foi: utilizar os dados de volume de consumo dos bairros atingidos, levantados por Moraes (2022) convertendo-o de $m^3/mês$ para l/s e distribuí-lo entre os bairros constatados na etapa de tendências de deslocamento de acordo com a porcentagem destinada a cada um.

Após a realização das alterações de demandas nas simulações, foram detalhados os resultados dos cenários antigos e atuais, destacados nos momentos mais críticos de demanda diária de acordo com o padrão de consumo de cada modelo.

Foram denominados como “cenário antigo” os resultados das simulações que se referem ao momento anterior ao recebimento migratório das populações atingidas e, “cenário atual” os resultados das simulações referentes ao momento posterior à recepção dos novos consumidores.

O modelo elaborado durante o desenvolvimento deste trabalho retrata o cenário atual de funcionamento do sistema – ou seja, já contando com as recepções de novos consumidores – desta forma, foi feito o processo reverso na alteração das demandas, onde, para que se obtenha o cenário antigo, a demanda estimada foi subtraída do consumo-base nos nós do modelo.

3.4 Proposição de estratégias para minimização dos impactos

Baseado nos resultados constatados nas simulações dos cenários anterior e posterior ao evento de migração, foram identificadas as adequações que podem ser benéficas ao SAA na situação atual, realizando nova simulação nos casos que necessitam deste recurso para demonstração da efetividade da ação. As possíveis estratégias para a minimização dos impactos foram discutidas em conjunto com o servidor da CASAL, considerando a sua experiência e conhecimento do sistema para alcance de soluções mais palpáveis no caso real.

Em resumo, foram definidas as estratégias de acordo com o contexto de cada sistema, as soluções propostas envolveram:

1. Implantação de redes de reforço: inicialmente, por se tratar de uma solução que gera menos transtornos de interrupção no abastecimento, com a finalidade de melhoria de cenários com perda de carga excessiva, além de ajudar nas pressões em casos mais simples;
2. Realização de atividades de controle de perdas e manutenção de redes, além de conscientização da população com o uso racional da água para a redução de perdas reais e aparentes.

A outra opção para os problemas encontrados nas simulações realizadas seria de substituição de redes para aumento dos diâmetros e, conseqüentemente regularizar as pressões, diminuindo também a perda de carga; contudo, tendo em vista que as redes estudadas são redes primárias e adutoras que, por definição tem a função de atender grandes áreas, fornecendo água para diferentes malhas de distribuição, torna-se inviável a interrupção do funcionamento destas, por um intervalo alto de tempo, para a realização de obras, pois causaria transtornos ainda maiores para a população.

No caso em que se fez necessária, foi realizada simulação hidráulica para validação da estratégia. Avaliando os parâmetros de pressão e perda de carga, tomando como referência os valores limites preconizados pela NBR 12218/2017

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

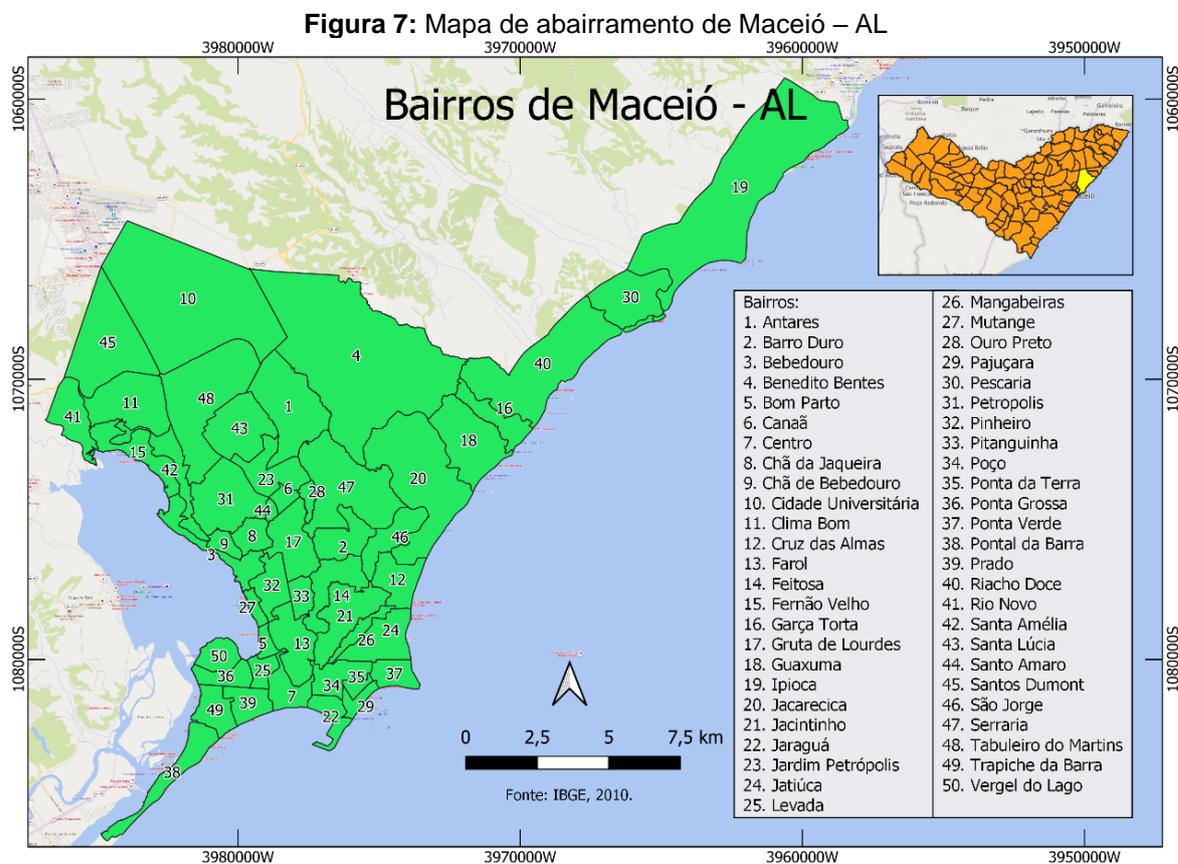
4.1 Caracterização da população em estudo

4.1.1 Características gerais do município de Maceió

Com uma extensão territorial de aproximadamente 509,876 Km², o município de Maceió, capital do estado de Alagoas possuía, segundo os dados do Censo IBGE 2010, 932.748 habitantes, dos quais 672 residiam na zona rural, e 932.076 residiam na zona urbana do município. Conforme a estimativa populacional do IBGE para o ano de 2021, no município residem 1.031.597 habitantes. Ainda conforme o Censo IBGE 2010, possui densidade demográfica de 1.854,10 hab./km²; índice de

desenvolvimento humano municipal (IDHM) de 0,721 considerado médio e PIB per capita de R\$ 22.976,51.

O município está dividido em 50 bairros distribuídos conforme mapa de abairramento mostrado na Figura 7.

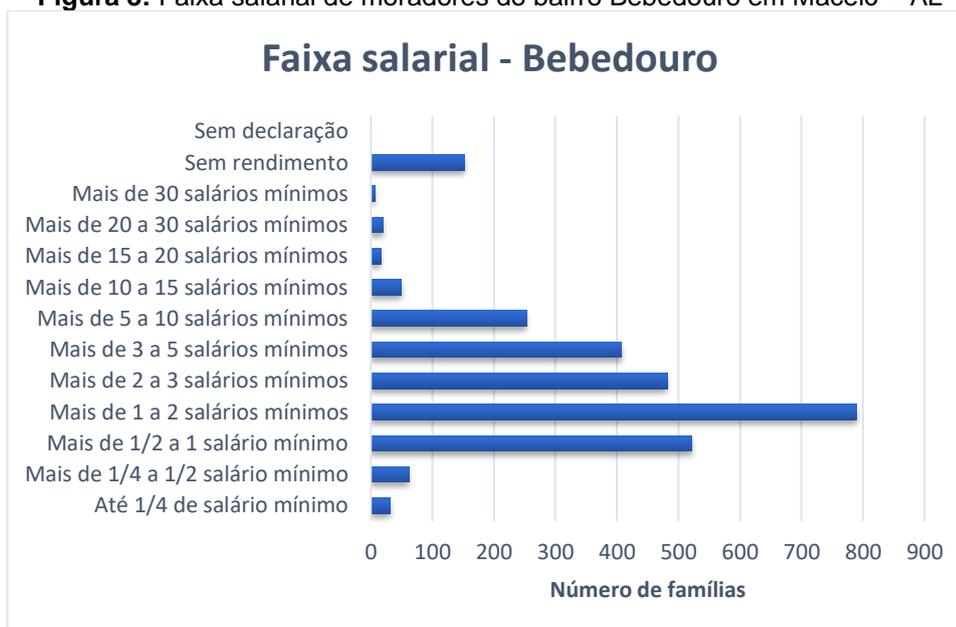


Fonte: Autor (2022).

4.1.2 Aspectos socioeconômicos dos bairros afetados

Bebedouro, caracteriza-se por suas edificações antigas de valor histórico, bem como pelas atividades de pesca de sururu na laguna, possui também grande concentração de comércios e feiras. A área possui densidade de 4.470,35 hab./km² e 10.103 habitantes com renda per capita de 294,65 a 706,03 e IDHM variando entre 0,595 e 0,756 – implicando em uma população de baixa renda, porém bem fornecidas de serviços: escolas, posto de saúde etc.

Segundo dados do censo realizado pelo IBGE em 2010, com salário mínimo de referência no valor de R\$ 510,00 a distribuição salarial do bairro se dava conforme gráfico exposto na Figura 8:

Figura 8: Faixa salarial de moradores do bairro Bebedouro em Maceió – AL

Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (2010)

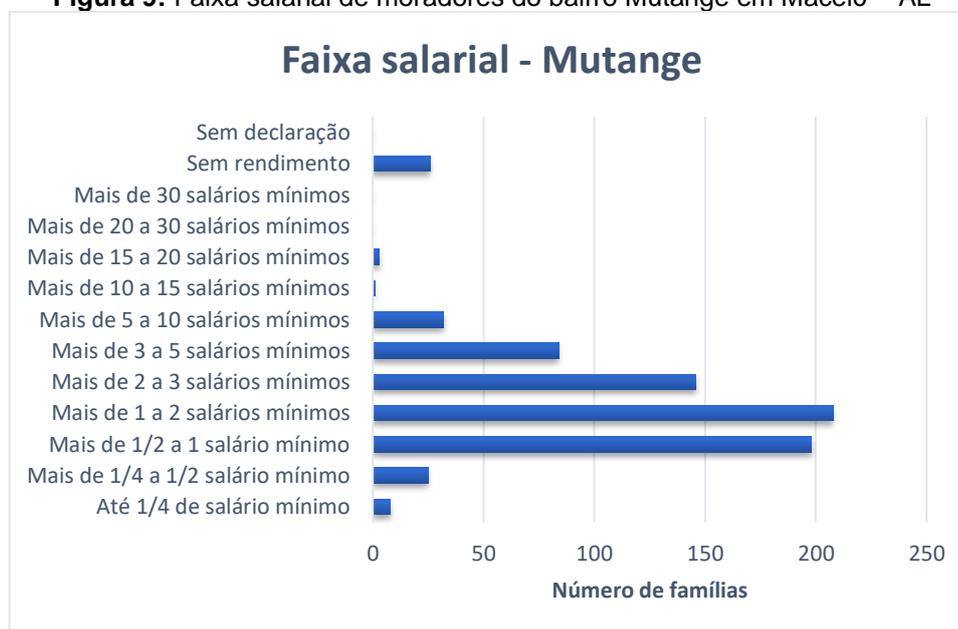
O bairro Bom Parto tem uma das menores extensões entre os bairros da capital maceioense, possuindo 12.841 habitantes, densidade de 22.930,35 hab./km², renda per capita variando de 377,01 a 671,71 e IDHM de 0,630 a 0,724, e ocupado por uma população de baixa renda que constantemente sofre com a pouca infraestrutura sanitária. A figura 8.2 representa graficamente a faixa salarial da população do bairro, conforme censo do IBGE.

Figura 8.2: Faixa salarial de moradores do bairro Bom Parto em Maceió – AL

Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (2010)

O Mutange dentre os bairros em análise foi o mais recentemente oficializado como bairro através da Lei Municipal Nº 4953 em janeiro de 2000, este abriga importantes órgãos públicos e diversas moradias, frutos de ocupação irregular em sua encosta. É um bairro ocupado por uma população de renda relativamente mais baixa, 315,60 per capita, tem 2.362 habitantes, com IDHM 0,609, e densidade de 4.874,07 hab./km². Tem características de infraestrutura precária decorrente de ocupações das encostas, porém tem proximidade com bairros bem fornecidos de serviços e transportes públicos, como Bebedouro e Pinheiro, assim, conta com uma localização favorável, quando comparado a outras ocupações de população de baixa renda. O perfil salarial da população está representado graficamente na Figura 9.

Figura 9: Faixa salarial de moradores do bairro Mutange em Maceió – AL



Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (2010)

O bairro do Pinheiro, por sua vez, com 19.062 habitantes e uma densidade demográfica de 9.627,27 hab./km², situa-se na parte alta da cidade. É um bairro tradicionalmente residencial com grande concentração de atividade empresarial, fornecendo serviço para os moradores do bairro e entorno. Antes do incidente, vinha passando por um processo de valorização através da verticalização das suas edificações. Sua população caracteriza-se por grande poder aquisitivo e de qualidade de vida elevada, vista a aproximação a serviços e vias principais, possuindo IDHM

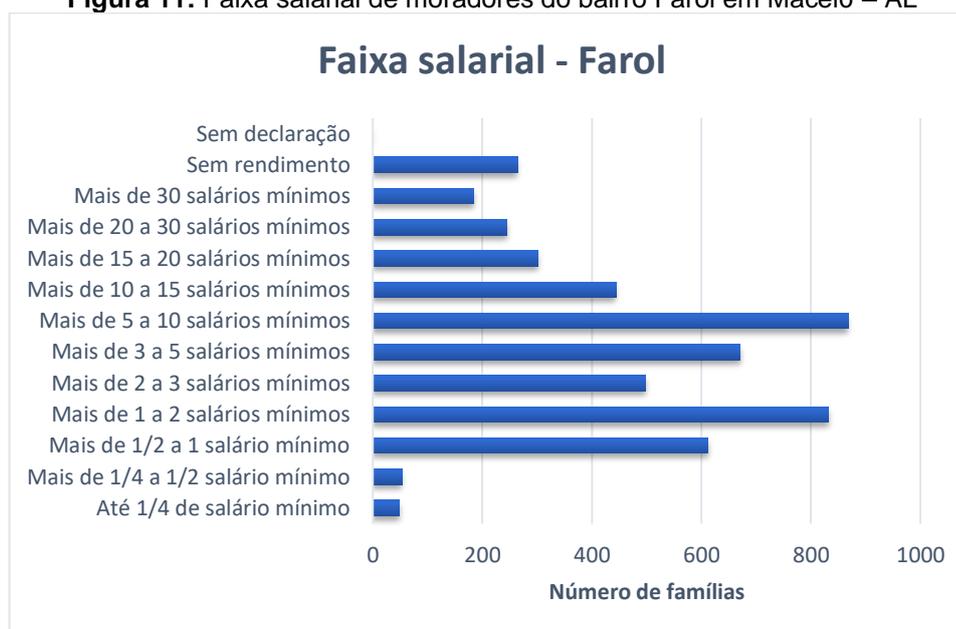
entre 0,838 a 0,900. Conforme Figura 10, a população do bairro possui uma faixa salarial mais elevada do que os perfis de renda vistos anteriormente.

Figura 10: Faixa salarial de moradores do bairro Pinheiro em Maceió – AL



Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (2010)

Por fim o bairro do Farol, que é um dos bairros mais tradicionais da cidade, tem predominância de edificações verticais com moradores de perfil social mais elevado, além de grande concentração de atividade comercial. Com uma área de aproximadamente 3,01 Km² e população de 16.859 habitantes conforme censo de 2010 do IBGE, dispõe de uma densidade populacional de 5.601 hab./km². O IDHM da população do bairro é de 0,94 e o perfil salarial é mostrado na Figura 11, que confirma o padrão de vida mais alto em relação aos bairros anteriores.

Figura 11: Faixa salarial de moradores do bairro Farol em Maceió – AL

Fonte: Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA (2010)

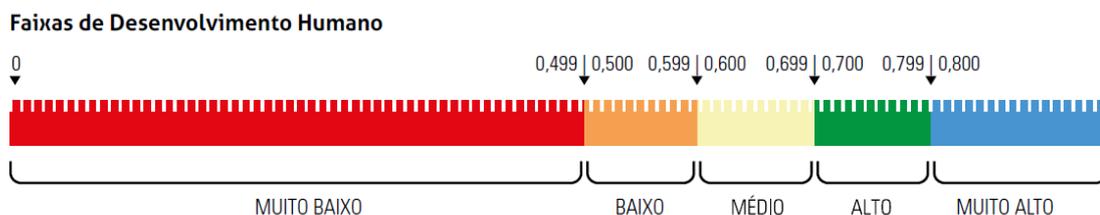
4.1.2.1 Índice de Desenvolvimento Humano Municipal

O conceito de desenvolvimento humano, bem como sua medida, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), foram apresentados em 1990, no primeiro Relatório de Desenvolvimento Humano do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD). O IDH reúne três dos requisitos mais importantes para a expansão das liberdades das pessoas: a oportunidade de se levar uma vida longa e saudável – saúde/longevidade –, de ter acesso ao conhecimento – educação –, e de poder desfrutar de um padrão de vida digno – renda. PNUD, Ipea, FJP (2015).

A aplicação realizada no Brasil utilizou-se dos mesmos parâmetros (longevidade, educação e renda) para o cálculo do índice, além de ter sido realizada no âmbito municipal, adotando o título de Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM), metodologia que foi adaptada pelo PNUD Brasil, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea) e Fundação João Pinheiro (FJP).

O IDHM é um número que varia entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior o desenvolvimento humano de uma unidade federativa, município, região metropolitana ou UDHS – conceito próximo ao de bairros – (Unidade de Desenvolvimento Humano). (PNUD, Ipea e FJP, 2015). A classificação das faixas de desenvolvimento humano, definida pelo PNUD Brasil, pode ser consultada através da Figura 12.

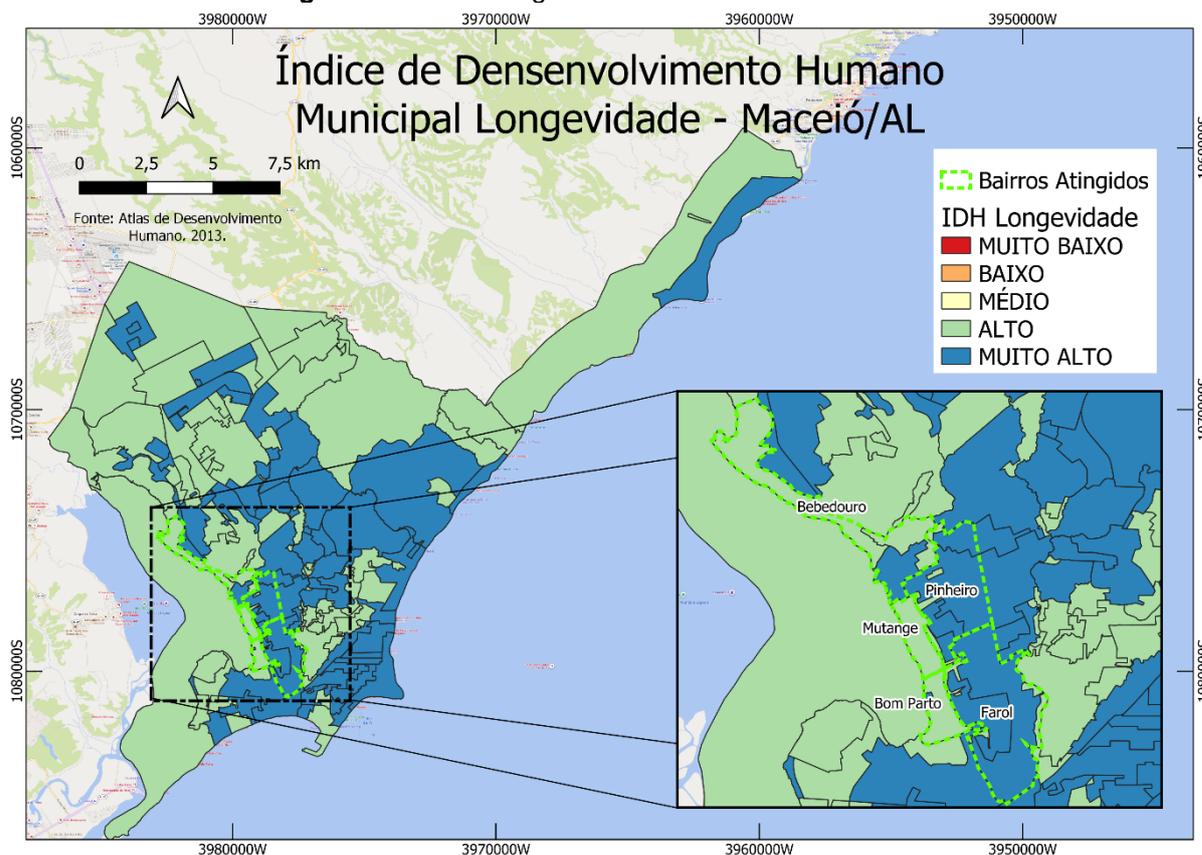
Figura 12: Faixa de Desenvolvimento Humano



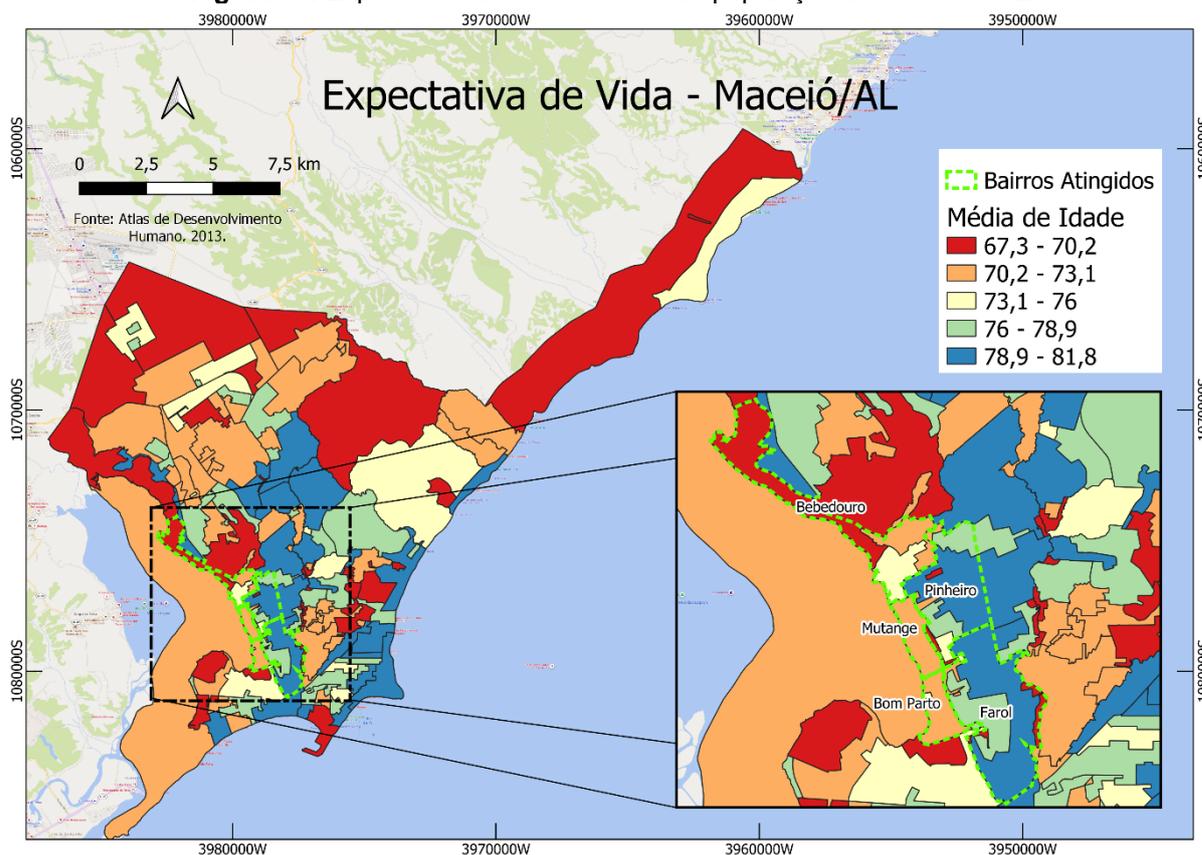
Fonte: Atlas do Desenvolvimento Humano (2013)

Através dos dados obtidos para as UDHs de Maceió, pôde-se utilizar dos recursos do QGIS para a elaboração de mapas informativos que caracterizam socioeconomicamente os bairros em estudo, além de possibilitar a comparação dos perfis sociais de outras regiões do município e assim, determinar a tendência de deslocamento da população dos bairros afetados para outros bairros.

Figura 13: IDHM Longevidade de Maceió – AL em 2010



Fonte: Autor (2022)

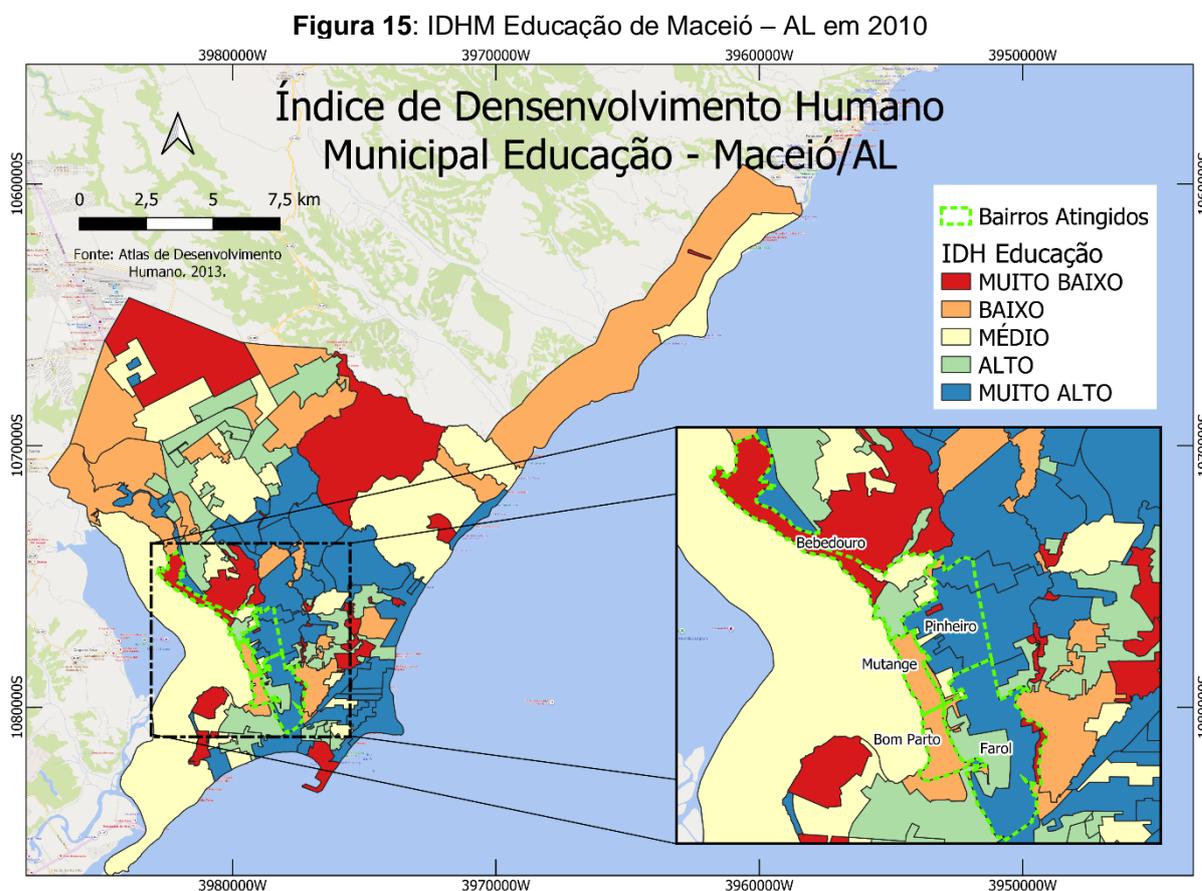
Figura 14: Expectativa de vida em anos da população de Maceió – AL

O primeiro parâmetro utilizado para cálculo do IDHM é o IDHM Longevidade que pode ser observado na Figura 13 e expressa o índice calculado com base na expectativa de vida da população em anos que se pode observar na Figura 14. Segundo PNUD Brasil (2013) o índice de longevidade é medido pela expectativa de vida ao nascer, calculada por método indireto, a partir dos dados dos Censos Demográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Esse indicador mostra o número médio de anos que uma pessoa nascida em determinado lugar viveria a partir do nascimento, mantidos os mesmos padrões de mortalidade.

Nota-se na Figura 13 que o município de Maceió, para o parâmetro de longevidade, apresentou resultados satisfatórios, enquadrando todo o município na faixa de desenvolvimento humano alto e muito alto. Nos bairros em questão obteve-se que: Bebedouro, Mutange e Bom Parto alcançaram o patamar de desenvolvimento alto e os bairros do Pinheiro e Farol, muito alto. Já na Figura 14 é possível observar as médias de idade de cada UDH e, analisando os bairros em estudo, verifica-se que o bairro do Bebedouro tem, dentre os cinco bairros, a menor expectativa de vida 67,3

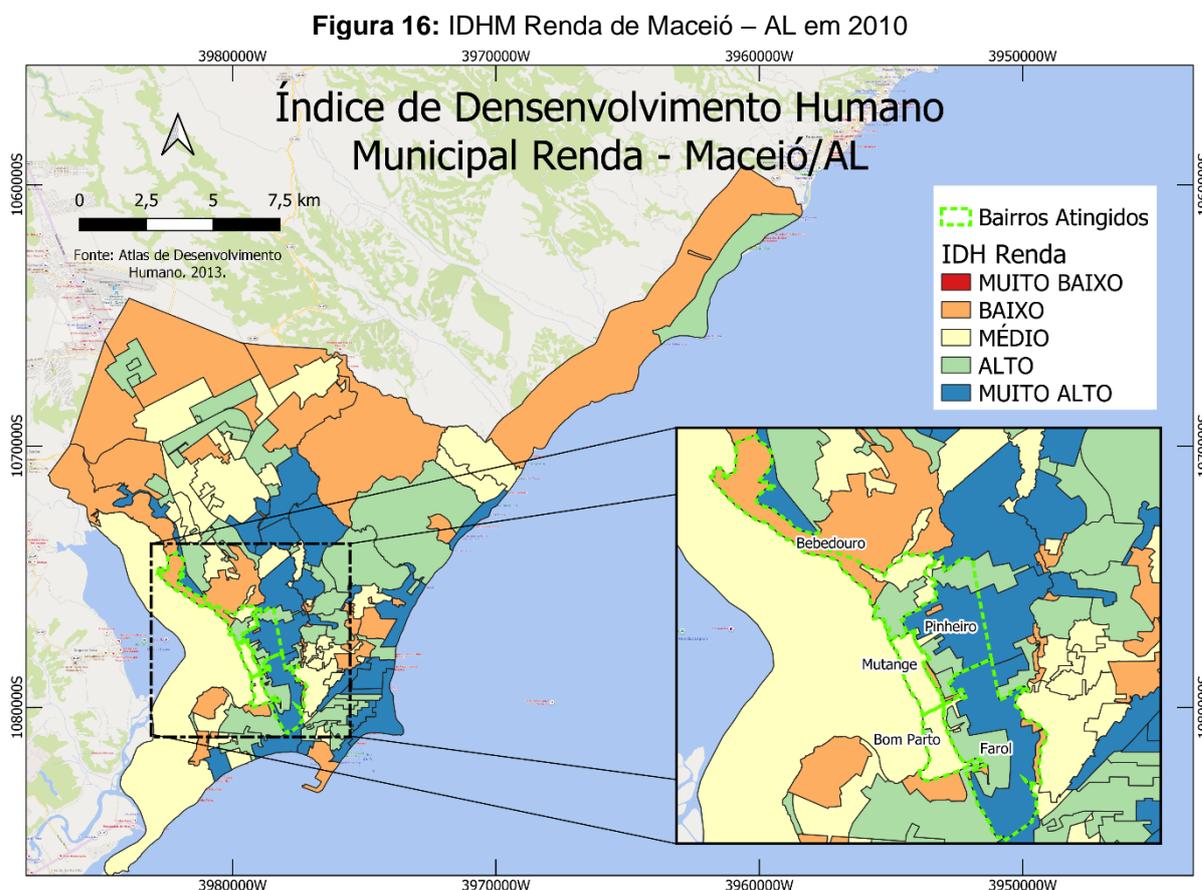
a 70,2 anos; seguido dos bairros Mutange e Bom Parto com média de 70,2 a 73,1 anos; já os bairros do Pinheiro e Farol apresentam em maior parte de sua área a média de expectativa de vida de 78,9 a 81,8 anos para suas populações.

Para os parâmetros de Educação, conforme o PNUD Brasil (2013) o IDHM Educação considera, com peso 1, a escolaridade da população adulta, medida pelo percentual de pessoas de 18 anos ou mais de idade com ensino fundamental completo e, com peso 2, a adequação do fluxo escolar da população jovem, medida pela média aritmética do percentual de crianças de 5 a 6 anos frequentando a escola, do percentual de jovens de 11 a 13 anos frequentando os anos finais do ensino fundamental, do percentual de jovens de 15 a 17 anos com ensino fundamental completo e do percentual de jovens de 18 a 20 anos com ensino médio completo. A média geométrica desses dois componentes resulta no IDHM Educação. Os dados básicos são dos Censos Demográficos do IBGE. A Figura 15 mostra o mapa dos níveis de IDHM Educação nas UDHS de Maceió.

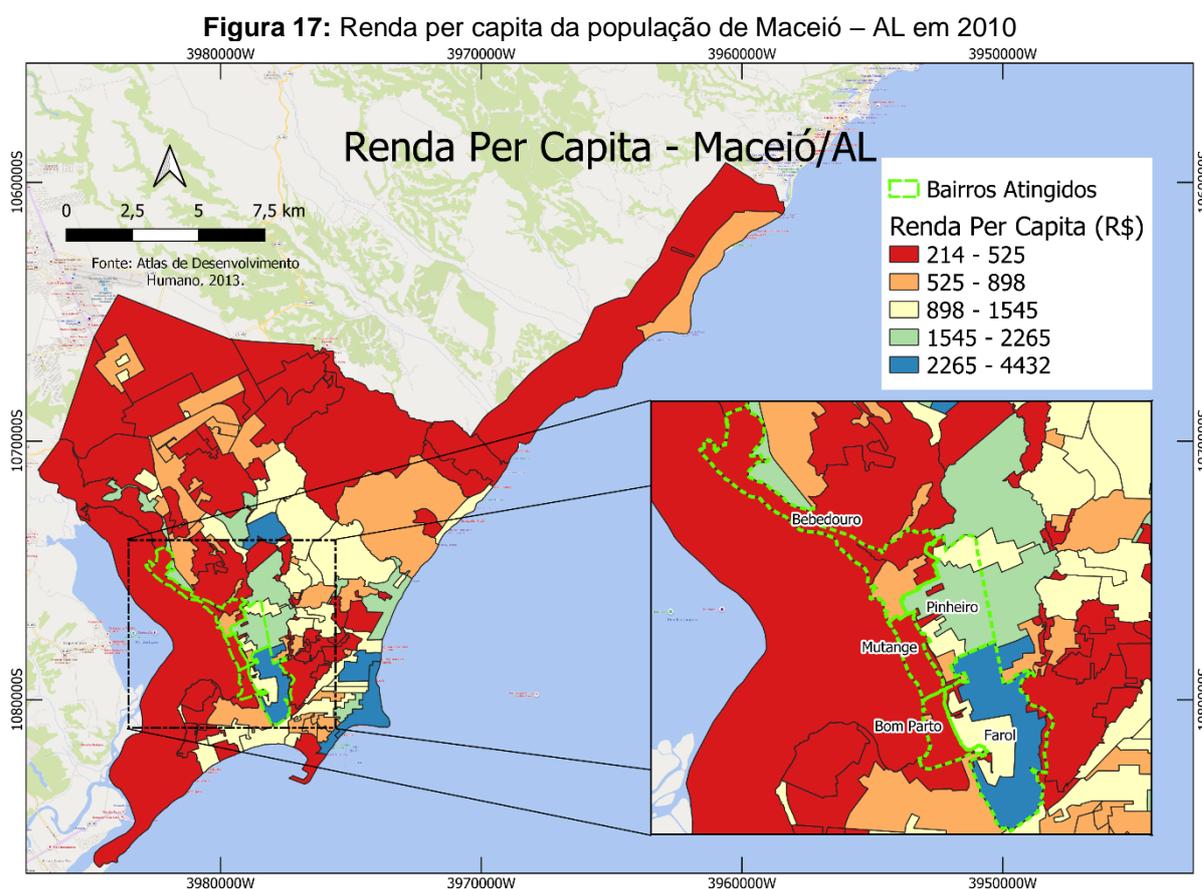


Nota-se que no quesito educação existe uma maior disparidade entre os bairros do município, onde algumas localidades atingem o patamar máximo e outras atingindo a faixa de valores mínimos. Dentre os cinco bairros em estudo, o cenário de desigualdade municipal se repete, com o bairro do Bebedouro apresentando valores de IDHM Educação na faixa muito baixa e os bairros do Pinheiro e Farol com sua maior área apresentando valores na faixa muito alta, os bairros do Bom Parto e Mutange, por sua vez, assim como o Bebedouro não apresentam bons resultados, posicionando-se na faixa de desenvolvimento baixa.

O terceiro aspecto avaliado para o IDHM é o de renda. Segundo PNUD Brasil (2013), o padrão de vida é medido pela renda per capita, ou seja, pela renda média dos residentes daquela localidade. É a soma da renda de todos os residentes, dividida pelo número de residentes, inclusive daqueles sem registro de renda. Os dados básicos são dos Censos Demográficos do IBGE. A Figura 16 mostra o mapa de IDHM Renda nas UDHs de Maceió.



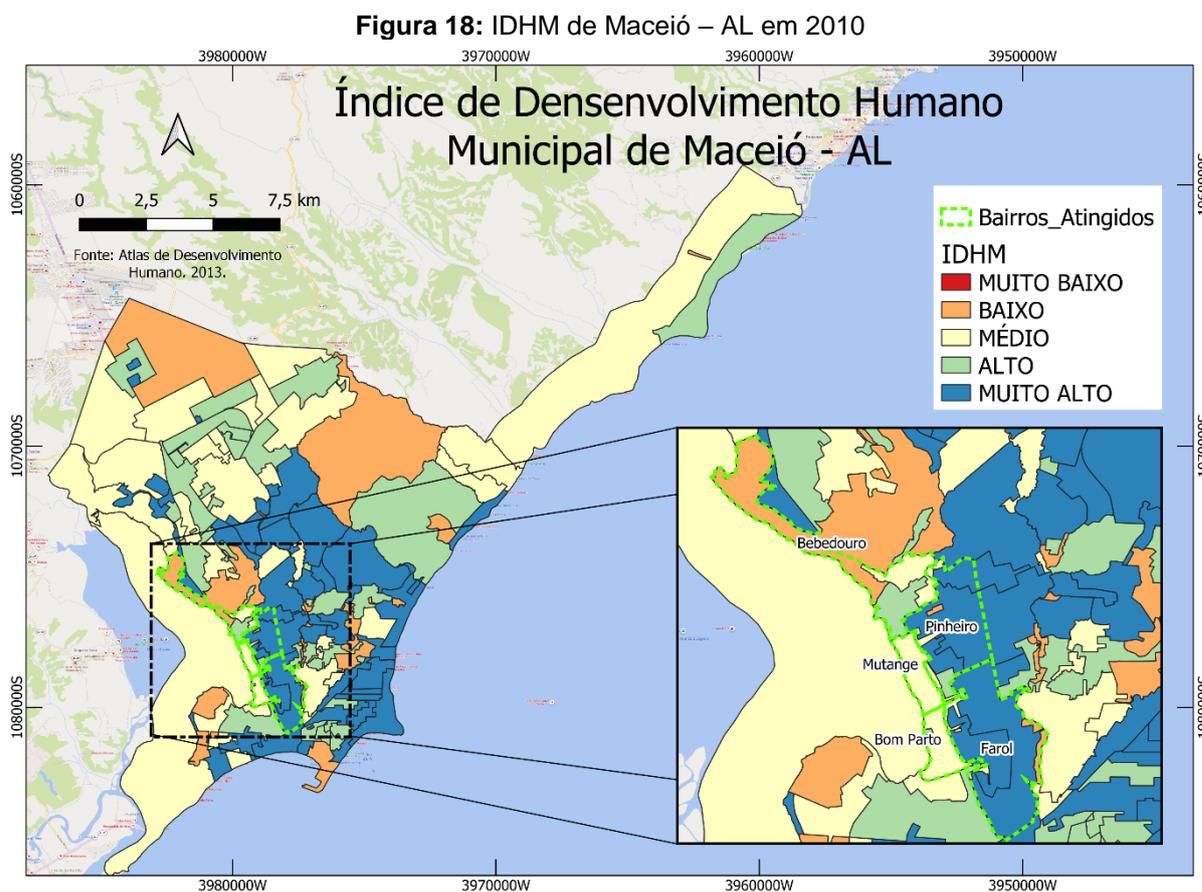
O padrão visto anteriormente se repete para o índice relativo à renda da população, onde os Bairros do Pinheiro e Farol se destacam em relação aos outros três restantes, sendo o Bebedouro o bairro que apresenta menores índices, desta vez mostrando uma predominância da faixa de desenvolvimento baixo enquanto os bairros Mutange e Bom Parto apresentam valores considerados médios. Através do mapa da Figura 17, pode-se ter uma noção mais clara em relação a valores de renda per capita, sendo este o valor a razão entre o somatório da renda de todos os indivíduos residentes em domicílios particulares permanentes e o número total desses indivíduos. Valores em reais de 01/agosto de 2010.



Fica claro pela análise da Figura 17, que Maceió tem uma média de renda per capita relativamente baixa em maioria de seu território, mesmo se comparada ao valor de salário mínimo de R\$ 510,00 (quinhentos e dez reais) em 2010, época em que se realizou o levantamento. Neste contexto, poucas UDHS alcançam valores que destoam do restante do município, com médias de 4,5 a 8,5 salários mínimos relativos

à época. Em relação aos bairros em estudo, novamente há os bairros do Pinheiro e Farol apresentam médias mais elevadas, onde o Farol alcançou a faixa mais alta de valores, se igualando a bairros nobres da cidade neste quesito. Similarmente aos parâmetros anteriores, Bebedouro, Bom Parto e Mutange apresentaram valores mais baixos se comparados aos demais da região afetada, porém, importante que se ressalte a semelhança com as demais UDHS do município como um todo.

Por fim, o IDHM geral é calculado através da média geométrica dos três parâmetros discutidos anteriormente (longevidade, educação e renda), podendo ser então, considerado um índice bastante criterioso que se utiliza de diversos indicadores sociais das mais variadas áreas para que se tenha uma indicação bem fundada de números que demonstrem a realidade de uma região. Na Figura 18, pode-se observar o IDHM do município de Maceió, que por fim auxiliará nas análises seguintes a respeito da tendência de deslocamento populacional no contexto dos eventos de afundamento em estudo.

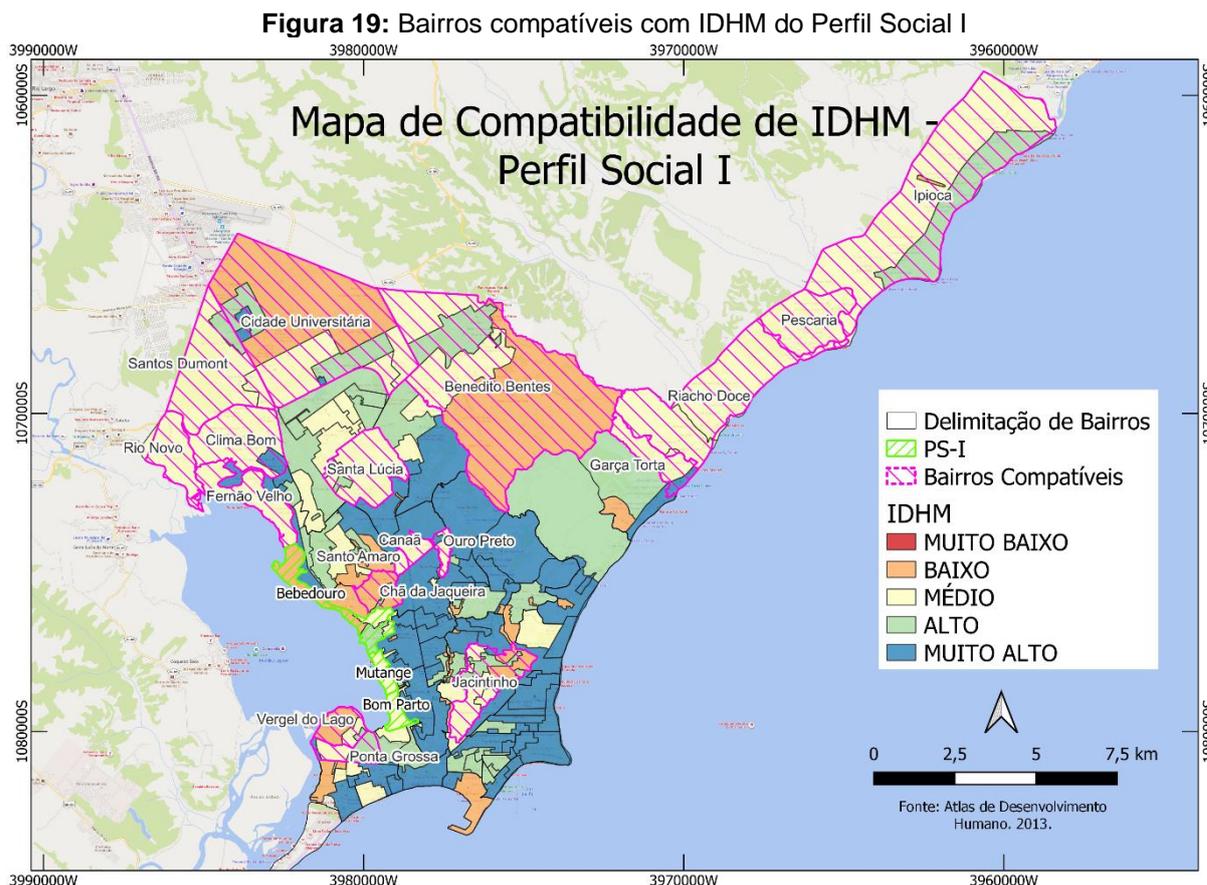


4.2 Tendências de deslocamento populacional em função da evacuação dos bairros afetados

Conforme relatório disponibilizado pela empresa Braskem S/A (2021), em seu site oficial, mais de 55 mil moradores já foram realocados para regiões distantes da área com risco de desabamento delimitada pela própria empresa juntamente com a Defesa Civil. Desta forma, na ausência de dados factuais dos destinos escolhidos por esses moradores, foram utilizadas as características populacionais e urbanísticas para se estimar quais as localidades mais prováveis de realocação. Com base nos seguintes critérios pôde-se observar tendências naturais de deslocamento que por fim implicam em alterações na estrutura do sistema de abastecimento de água dos bairros receptores, que serão analisadas mais adiante.

4.2.1 Critério Socioeconômico

Pelas análises dos resultados do item anterior, em relação ao perfil socioeconômico das regiões afetadas pelo afundamento de solo, pôde-se notar uma clara disparidade entre os perfis dos cinco bairros estudados. Eles subdividem-se em dois grupos distintos. Um com perfil social e padrão de vida mais baixo e outro com características de padrões sociais mais elevados. Desta forma, para simplificação do entendimento, serão nomeados conforme se segue: denominar-se-á Perfil Social I (PS-I) o grupo com IDHM predominantemente baixo ou médio (Bebedouro, Bom Parto e Mutange) e, Perfil Social II (PS-II) para o grupo com IDHM predominantemente alto ou muito alto (Pinheiro e Farol). A Figura 19 apresenta um mapa com bairros de Maceió que são “compatíveis” com o IDHM do Perfil Social I.



Fonte: Autor (2022)

Nota-se que há uma predominância de bairros compatíveis com o PS-I na chamada parte alta da cidade. É possível notar pela distribuição das faixas de IDHM no mapa, que os perfis sociais mais elevados se encontram, principalmente, na região central da cidade, bem como nas regiões à beira-mar; essas regiões concentram um tipo de comércio mais voltado para o turismo que é uma das grandes fontes de receita da capital alagoana e, assim, justificam os altos níveis de índices de desenvolvimento constatados. Por outro lado, as zonas mais periféricas da cidade retratam a realidade de muitos contextos nordestinos e brasileiros, com grandes disparidades de renda, saúde e educação em relação às parcelas mais ricas de uma determinada região.

Os bairros de Benedito Bentes, Canaã, Chã de Jaqueira, Cidade Universitária, Clima Bom, Fernão Velho, Garça Torta, Ipioca, Jacintinho, Ouro Preto, Pescaria, Ponta Grossa, Riacho Doce, Rio Novo, Santa Lúcia, Santo Amaro, Santos Dumont e Vergel do Lago são os destacados como “Bairros Compatíveis” no mapa da Figura 19. No entanto, para direcionar os possíveis destinos dos moradores da região afetada do PS-I, outros fatores devem ser considerados para afunilamento desta análise.

4.2.2 Critério Urbanístico

Fazendo uso do Plano Diretor de Maceió instituído pela Lei Municipal Nº 5486 de 30/12/2005 e do Código de Edificações Lei Municipal Nº 5593 de 08/02/2007 pode-se verificar as áreas de macrozoneamento e zoneamento urbano do município (Figura 20 e Figura 21, respectivamente), onde é possível extrair informações relevantes para as deduções de deslocamento populacional a serem estudadas.

Conforme Figura 20, o macrozoneamento urbano sugere que os bairros de Ipioca e Pescaria, e parte dos bairros de Benedito Bentes, Cidade Universitária, Fernão Velho, Riacho Doce, Rio Novo, e Santa Lúcia integram a Macrozona de Restrição à Ocupação (representada na cor cinza do mapa), que segundo o Art. 129 da Lei Municipal 5486/2005 é constituída por áreas de fragilidade ambiental com deficiências de infraestrutura urbana e baixa intensidade de ocupação urbana; áreas que necessitam de restrição ao uso e à ocupação urbana para se compatibilizarem à capacidade de suporte físico natural; áreas em situação de risco ambiental pela proximidade ao complexo cloroquímico do Pontal da Barra; áreas de mananciais ou bacias de recarga cujas condições ambientais exigem controle na ocupação e nas atividades a serem implantadas; áreas com restrições legais ou institucionais à ocupação urbana e áreas com declividade superior a 17° (dezessete graus) e inferior a 45° (quarenta e cinco graus). Logo essas áreas são consideradas de baixa relevância na estimativa de realocação e serão desconsideradas para a análise, tendo em vista a sua baixa probabilidade de recepção de novos moradores.

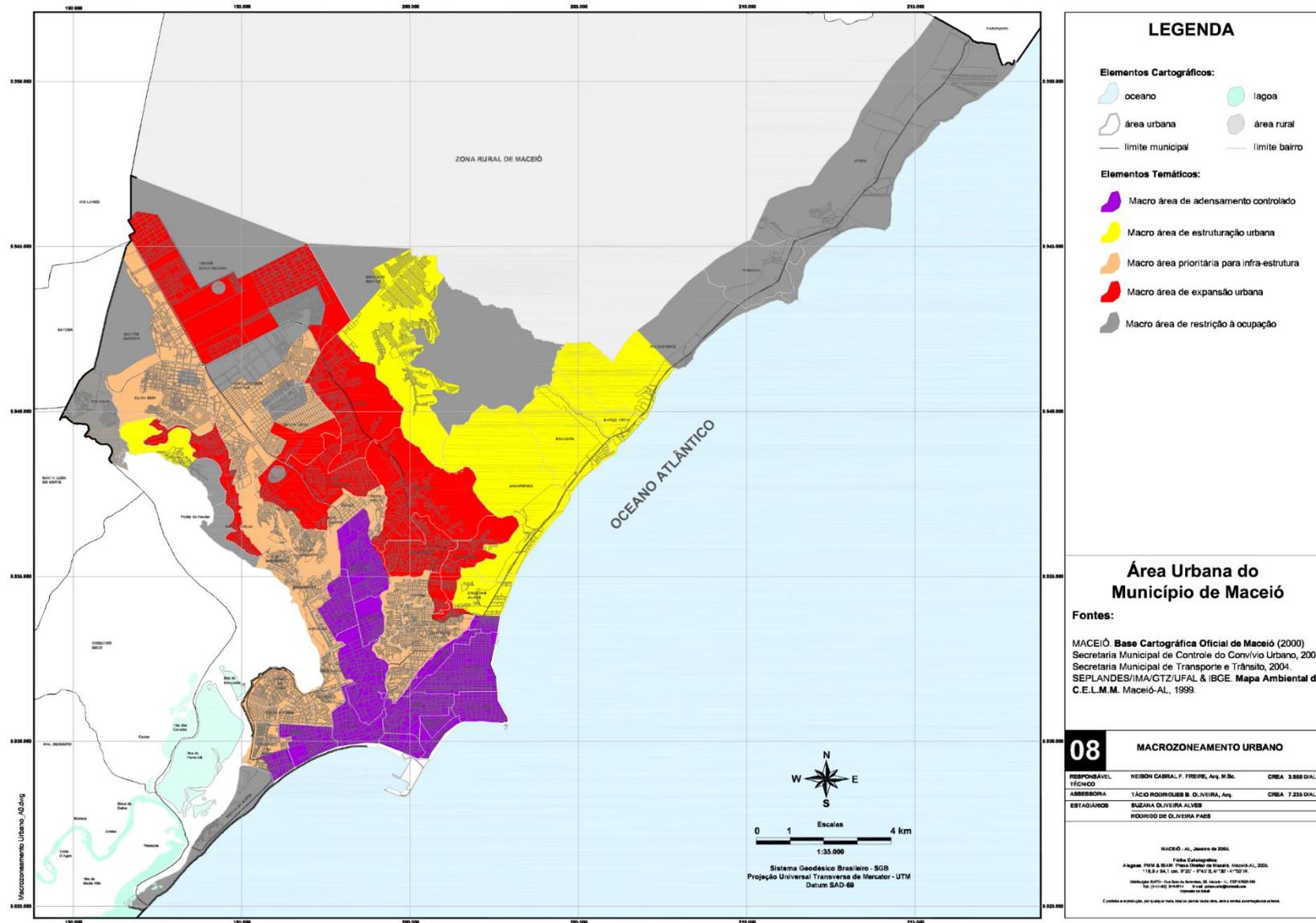
O Art. 130 da mesma Lei Municipal, expressa que a Macrozona de Estruturação Urbana (representada na cor amarela no mapa da Figura 20) é constituída por áreas na planície costeira e flúvio-lagunar e no tabuleiro, com intensidade de ocupação média ou baixa e deficiências de infraestrutura urbana, que requerem integração urbanística à malha urbana e implantação de infraestrutura. São diretrizes para a Macrozona de Estruturação Urbana na planície costeira e flúvio-lagunar, por exemplo, a prioridade na ampliação das redes de distribuição de água e de energia elétrica e na melhoria do atendimento das existentes; melhoria da acessibilidade e da mobilidade, inclusive com a abertura de vias alternativas à AL-101 Norte. Apesar de ser classificada como uma área com deficiência de infraestrutura, tendo em vista a lacuna temporal que se dá entre o estabelecimento da lei que incentiva o desenvolvimento da área e os dias atuais, além do Mapa de Zoneamento Urbano de

2007 da Figura 21, que considera a área maior parte dessa região como (Zona Residencial), pode-se assumir que já houve algum avanço no quesito estruturação mínima para estabelecimentos residenciais, apesar de ainda necessitar de melhorias, conforme indicação de IDHM. Assim, essa se torna uma área de viabilidade de realocação, com a ressalva da pouca capacidade de recepção de novos moradores. As áreas consideradas são: o bairro de Garça Torta e partes dos bairros de Benedito Bentes, Fernão Velho e Riacho Doce.

Por fim, restam as localidades de Macro Expansão Urbana e Macro Área Prioritária para Infraestrutura (representadas na legenda pelas cores vermelha e laranja, respectivamente), suas definições de acordo com o a Lei 5486/2005 dizem: Art. 131, a Macrozona de Expansão Intensiva é constituída por áreas de baixa intensidade de ocupação ou áreas subutilizadas nos interstícios de áreas ocupadas, situadas no tabuleiro junto aos vetores de crescimento urbano, com potencial para atendimento por redes de saneamento básico e pelo Sistema Municipal de Mobilidade e Art. 128, a Macrozona Prioritária para Implantação de Infraestrutura é constituída por áreas de intensa ocupação, sobretudo pelos segmentos da população, situadas na planície costeira e flúvio-lagunar e no tabuleiro, com potencial de acessibilidade e mobilidade, que deverão prioritariamente ter implantados sistemas de infraestrutura urbana, especialmente redes de água e esgoto.

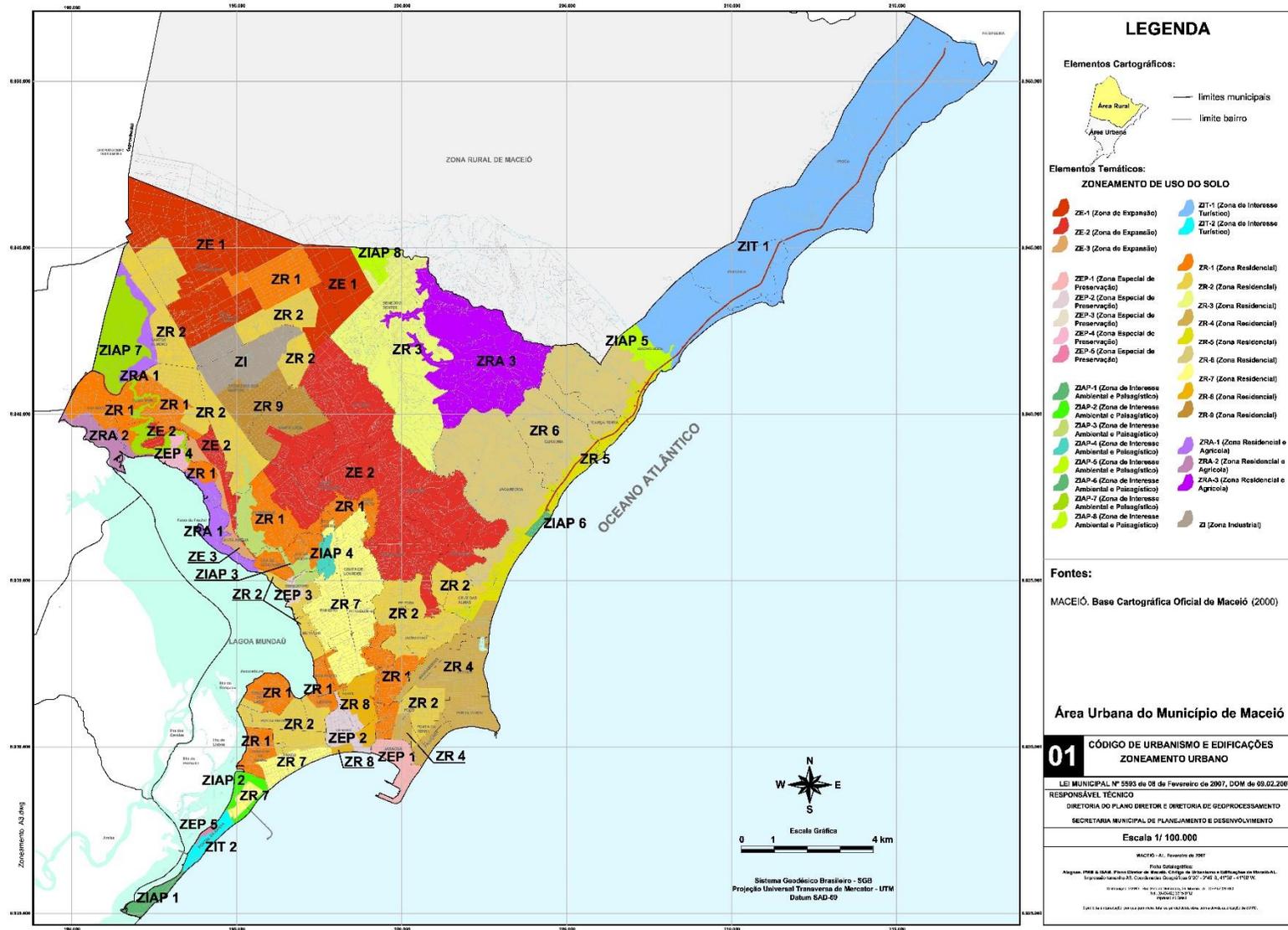
Logo, como se trata de áreas com grande potencial de infraestrutura e em processo de expansão, entende-se que são as mais prováveis para destinação de novos estabelecimentos residenciais e comerciais da população oriunda do PS-I.

Figura 20: Macrozoneamento Urbano de Maceió – AL



Fonte: Plano Diretor de Maceió (2005)

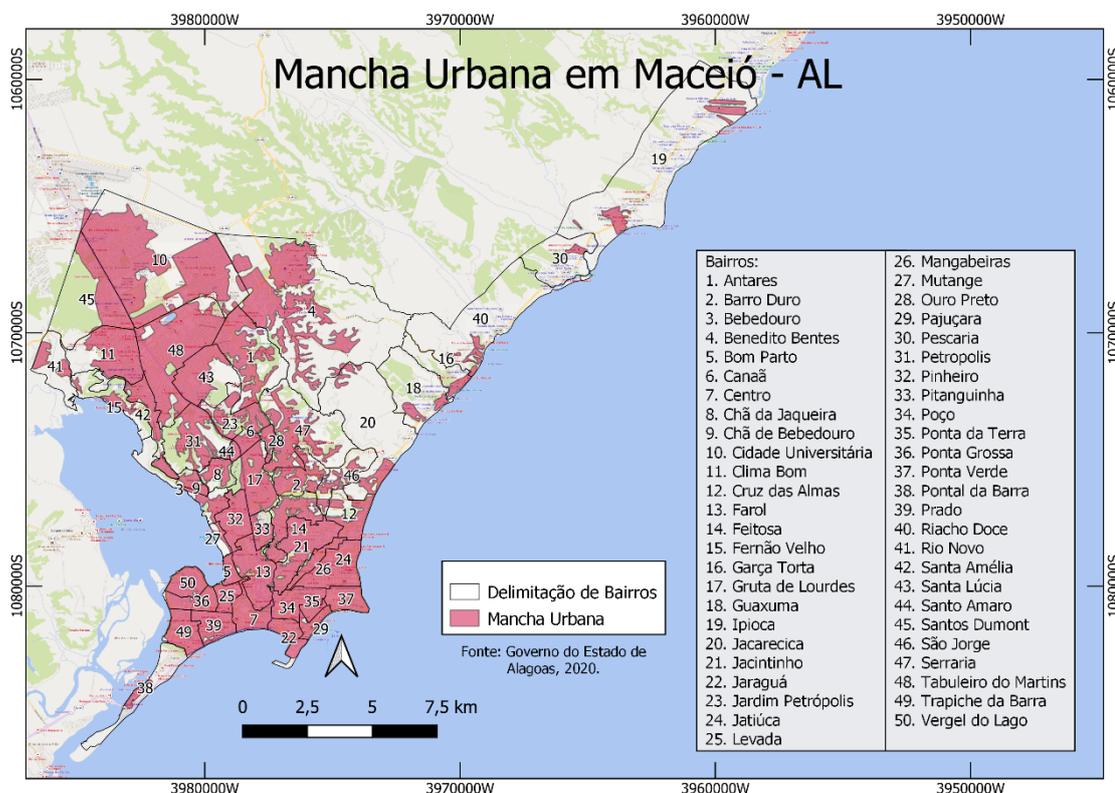
Figura 21: Zoneamento Urbano de Maceió – AL



Fonte: Código de Urbanismo e Edificações (2007)

Ainda utilizando critérios urbanísticos, o mapa de mancha urbana, Figura 22 contribui para o acréscimo de mais um fator que afunila a área de estudo. Ao considerar as áreas com características de urbanização (asfalto, pavimentação, vias de acesso e edificações) pode-se obter uma maior precisão na delimitação das áreas, focando ainda mais nas áreas que de fato, tem potencial de realocação.

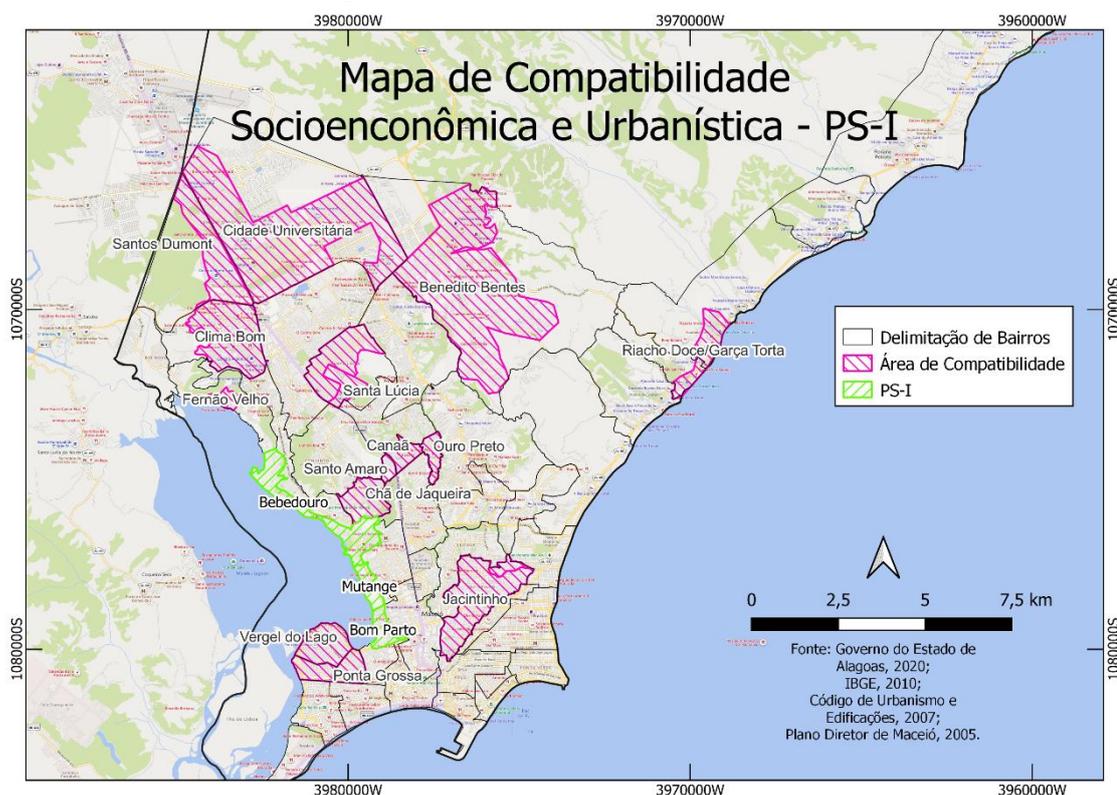
Figura 22: Mapa de Mancha Urbana



Fonte: Autor (2022)

Com o recurso do software de geoprocessamento QGIS, foi possível cruzar as informações dos mapas das figuras 19, 20, 21 e 22 considerando somente a interseção das áreas de interesse, resultando assim no mapa de compatibilidade da Figura 23.

Figura 23: Mapa de Compatibilidade PS-I



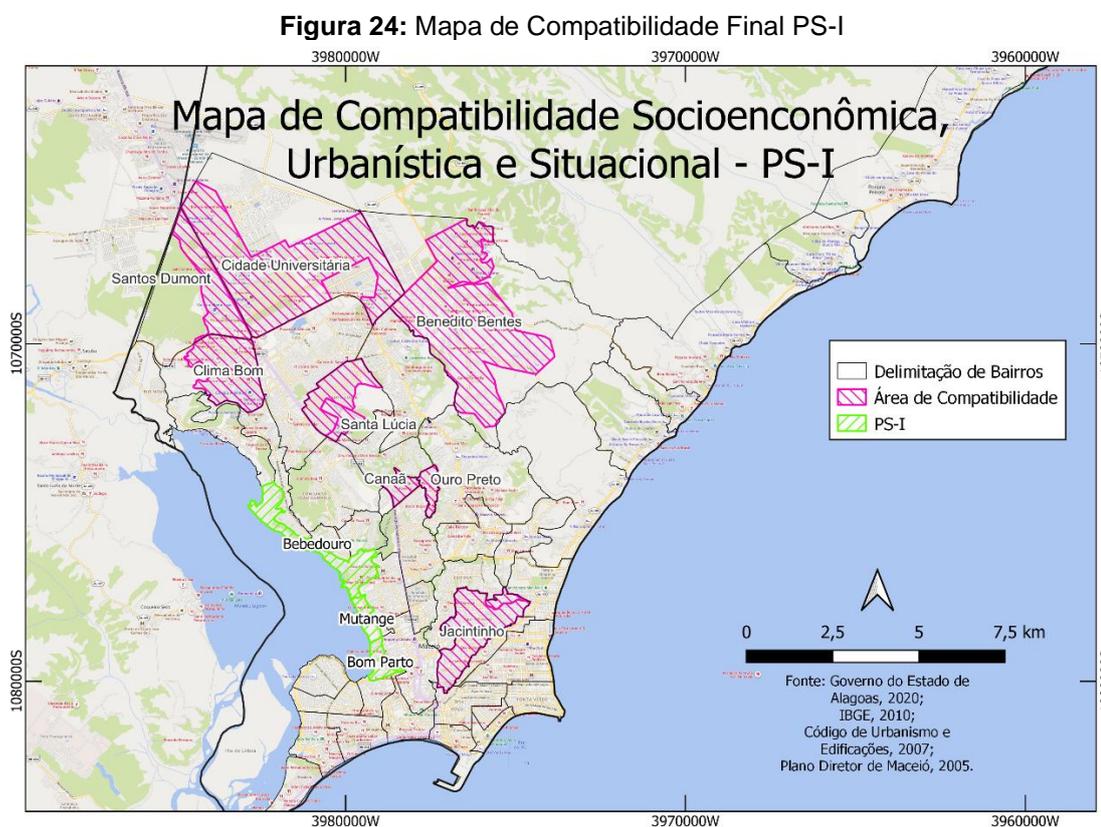
Fonte: Autor (2022)

4.2.3 Critério Situacional

A situação vivida pela população dos bairros afetados é de extrema vulnerabilidade além de ser pautada de muitas incertezas e medos. O trauma de perder repentinamente os lares, negócios, memórias afetivas, dentre tantas outras perdas, pode trazer reações diferentes para cada pessoa; alguns procuraram imediatamente evacuar a área, preocupados com a segurança, outros se recusaram a abandonar seus lares e permanecem no local apesar das determinações das autoridades. É razoável, porém, que se conclua que a parcela deslocada dos moradores não queira se mudar para áreas que tenham algum indicativo de que a situação de desabrigo se repita. Assim, os bairros demasiadamente próximos das áreas de risco, assim como as localidades nos arredores da lagoa Mundaú, mesmo que estejam fora da demarcação feita pela defesa civil, serão desconsideradas para a análise de realocação, tendo em vista que serão evitadas pelos moradores. Este é o caso dos bairros: Chã de Jaqueira, Santo Amaro, Fernão Velho, Vergel do Lago e Ponta Grossa.

Outro raciocínio que contribui para o afunilamento da decisão é o de que as áreas que diferem muito das características urbanas costumeiras aos moradores como vias de acesso à rede de transporte, proximidades com grandes centros comerciais e redes de apoio na área da saúde, também serão evitadas e conseqüentemente terão uma porcentagem irrelevante de realocações. Essa situação aplica-se aos casos dos bairros Riacho Doce e Garça Torta que são bairros mais distantes das áreas mais movimentadas do município, além de possuírem uma área urbanizada muito reduzida, como se pode constatar no mapa de mancha urbana da Figura 22, o que implica em uma capacidade reduzida para receber novos moradores.

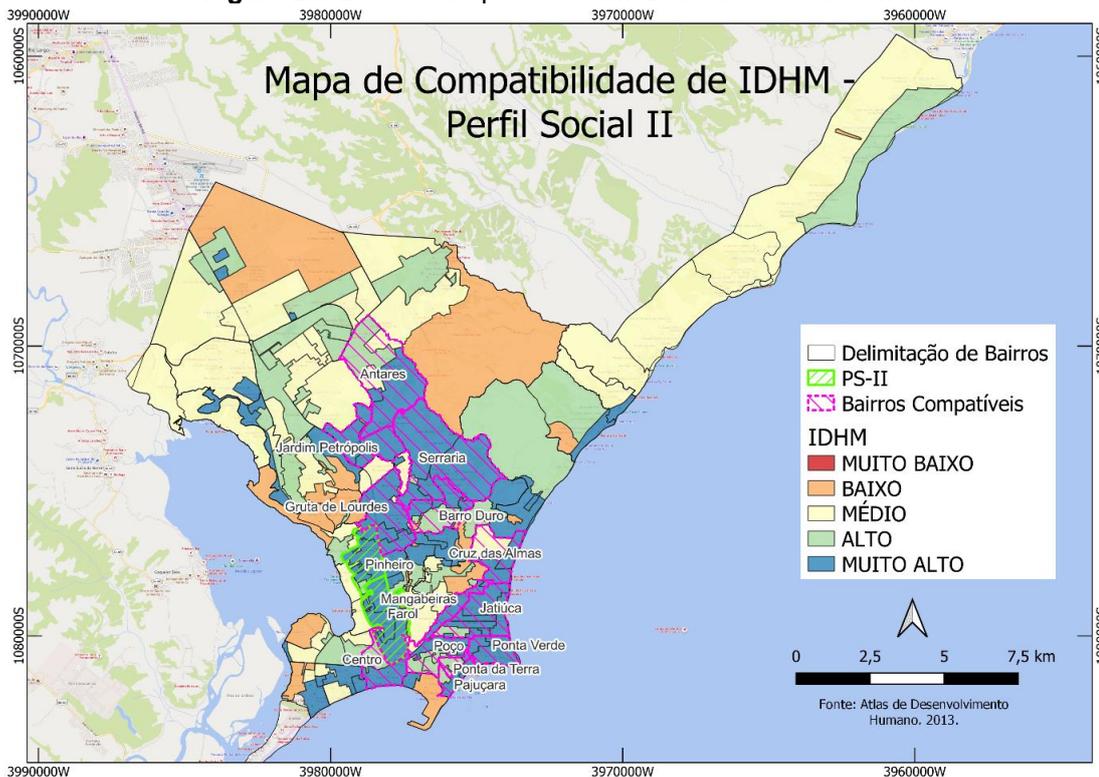
O mapa de compatibilidade final do PS-I, que faz uso dos critérios socioeconômicos, urbanísticos e situacionais está representado na Figura 24.



Fonte: Autor (2022)

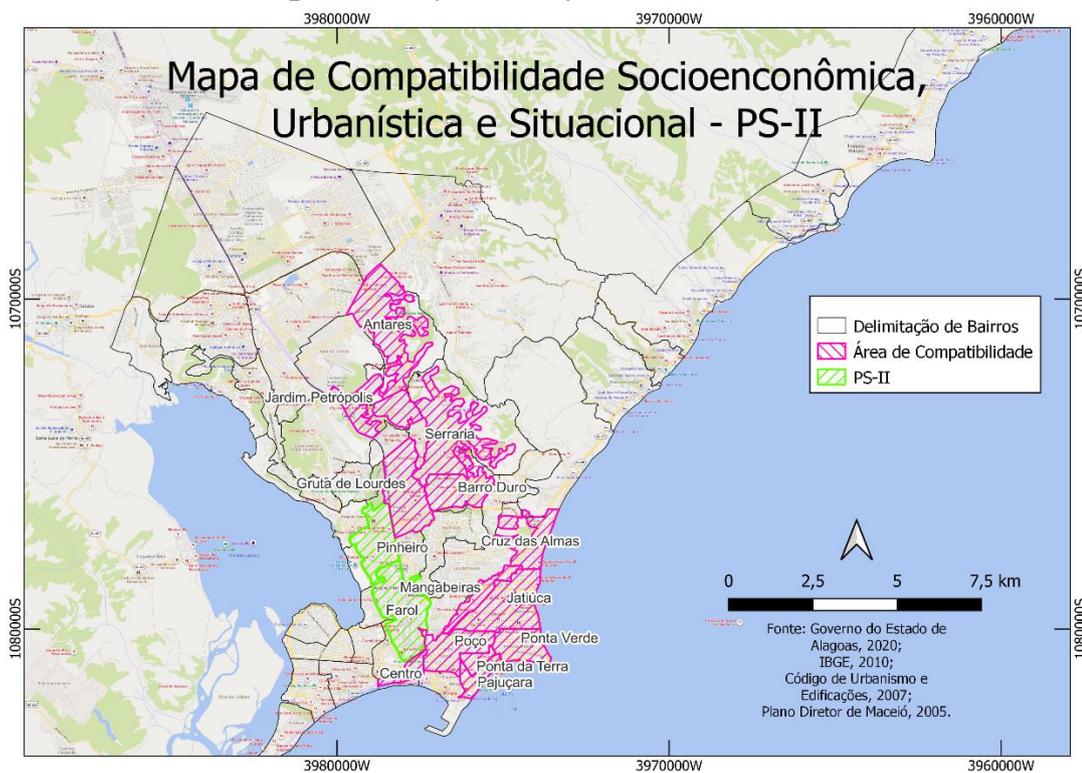
Analogamente ao processo feito para identificação de áreas com potenciais para realocação da população do PS-I, foi realizada a delimitação para o tipo de população do PS-II. O mapa da Figura 25 apresenta a compatibilidade de IDHM dos bairros do município com o PS-II e a Figura 26, a compatibilidade final considerando os critérios já desenvolvidos nos itens anteriores.

Figura 25: Bairros compatíveis com IDHM do Perfil Social II



Fonte: Autor (2022)

Figura 26: Mapa de Compatibilidade Final PS-II



Fonte: Autor (2022)

Para tanto, utilizou-se de dois parâmetros como critério, foram eles: área útil e densidade populacional das localidades receptoras.

As Tabela 3 e 4 resumem os bairros compatíveis com o PS-I e PS-II e as suas respectivas áreas úteis – ou seja, com viabilidade urbana para novos moradores.

Tabela 3: Quadro resumo área útil de bairros compatíveis com PS-I

Perfil	Bairro	Área útil (km ²)	Porcentagem da área total
PS-I	Ouro Preto	0,53	1,4%
	Canaã	0,56	1,5%
	Santos Dumont	2,56	6,8%
	Santa Lúcia	2,72	7,3%
	Clima Bom	3,34	8,9%
	Jacintinho	3,59	9,6%
	Cidade Universitária	11,69	31,2%
	Benedito Bentes	12,48	33,3%
	Total	37,47	100,0%

Fonte: Autor (2022)

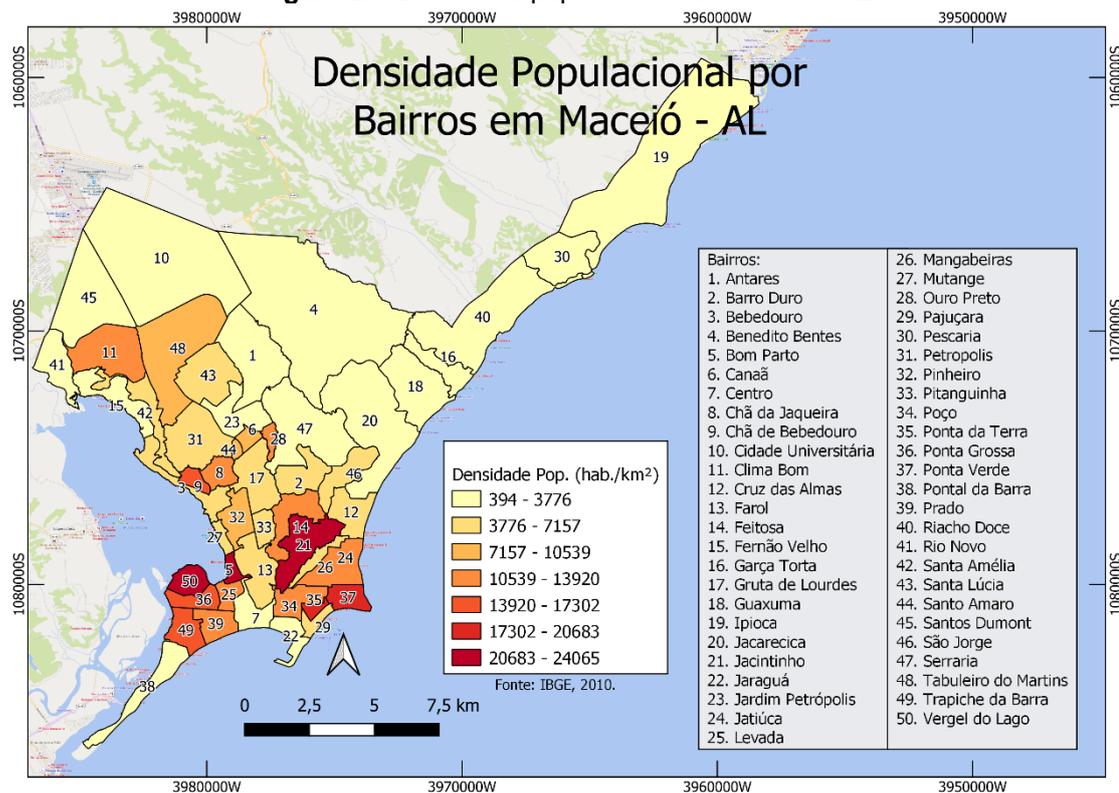
Tabela 4: Quadro resumo área útil de bairros compatíveis com PS-II

Perfil	Bairro	Área útil (km ²)	Porcentagem da área total
PS-II	Ponta da Terra	0,42	1,7%
	Centro	0,44	1,8%
	Pajuçara	0,70	2,8%
	Mangabeiras	0,85	3,4%
	Ponta Verde	1,40	5,6%
	Cruz das Almas	1,69	6,8%
	Poço	1,86	7,5%
	Barro Duro	1,99	8,0%
	Jardim Petrópolis	2,18	8,8%
	Gruta de Lourdes	2,77	11,2%
	Jatiúca	2,93	11,8%
	Serraria	3,75	15,2%
	Antares	3,75	15,2%
	Total	24,74	100,0%

Fonte: Autor (2022)

A Figura 27 apresenta o mapa de densidade populacional do município de Maceió e as Tabelas 5 e 6 apresentam a densidade populacional dos bairros compatíveis com PS-I e PS-II.

Figura 27: Densidade populacional de Maceió – AL



Fonte: Autor (2022)

Tabela 5: Quadro resumo densidade populacional de bairros compatíveis com PS-I

Bairro	População	Área (km ²)	Densidade Populacional (Hab./Km ²)	Distribuição Densidade (%)
Santos Dumont	20471	7,100	2883	3,9%
Benedito Bentes	88084	24,600	3581	4,9%
Cidade Universitária	71441	19,465	3670	5,0%
Santa Lúcia	26061	3,998	6519	8,9%
Canaã	5025	0,569	8831	12,1%
Ouro Preto	6224	0,534	11655	15,9%
Clima Bom	55952	4,655	12020	16,4%
Jacintinho	86514	3,595	24065	32,9%

Fonte: Autor (2022)

Tabela 6: Quadro resumo densidade populacional de bairros compatíveis com PS-II

Bairro	População	Área (km ²)	Densidade Populacional (Hab./Km ²)	Distribuição Densidade (%)
Centro	2818	1,655	1703	1,8%
Jardim Petrópolis	5081	2,683	1894	2,0%
Antares	17165	5,985	2868	3,0%
Serraria	22675	7,542	3006	3,1%
Gruta de Lourdes	14283	3,198	4466	4,6%
Mangabeiras	4166	0,872	4778	4,9%
Cruz das Almas	11708	2,261	5178	5,4%
Pajuçara	3711	0,698	5317	5,5%
Barro Duro	14431	2,386	6048	6,3%
Poço	20776	1,864	11146	11,5%
Jatiúca	38027	2,925	13001	13,4%
Ponta Verde	24402	1,397	17467	18,1%
Ponta da Terra	8403	0,424	19818	20,5%

Fonte: Autor (2022)

A relação entre os critérios escolhidos é inversa. Para as áreas úteis dos bairros compatíveis, quanto maior a área, maior será a capacidade de recepção de novos moradores. Já para a densidade populacional, quanto maior a densidade, menor será capacidade receptora das mesmas. Ao se realizar as ponderações e adotando um valor percentual de 5% para realocações em bairros não identificados na estimativa, obteve-se a distribuição mostrada nas Tabelas 7 e 8.D

Tabela 7: Distribuição de realocação populacional PS-I

Perfil	Bairros	Distribuição (%)
PS-I	Benedito Bentes	22%
	Cidade Universitária	21%
	Clima Bom	10%
	Santos Dumont	10%
	Santa Lúcia	10%
	Jacintinho	9%
	Canaã	7%
	Ouro Preto	6%
	Outros	5%

Fonte: Autor (2022)

Tabela 8: Distribuição de realocação populacional PS-II

Perfil	Bairro	Distribuição (%)
PS-II	Serraria	10%
	Ponta Verde	10%
	Poço	9%
	Ponta da Terra	9%
	Pajuçara	8%
	Mangabeiras	8%
	Jardim Petrópolis	7%
	Jatiúca	7%
	Gruta de Lourdes	7%
	Cruz das Almas	5%
	Centro	5%
	Antares	5%
	Barro Duro	5%
	Outros	5%

Fonte: Autor (2022)

Desta forma, a demanda de consumo de água a ser transferida será atribuída aos bairros segundo estimativa de distribuição sugerida nas Tabelas 7 e 8, para uma melhor aproximação do caso real em análise.

4.3 Caracterização do sistema de abastecimento de água em estudo

4.3.1 Características gerais do SAA de Maceió

O sistema de abastecimento do município de Maceió foi operado pela Companhia de Saneamento de Alagoas – CASAL desde a década de 60 até meados de 2021. Atualmente, após o processo de leilão para a concessão dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário de Maceió e região metropolitana, o sistema é operado pela BRK Ambiental em conjunto com a CASAL. É composto por três subsistemas produtores principais, que permanecem sendo operados pela CASAL. Estes fazem a captação das águas superficiais: do Subsistema Pratagy, do Subsistema Catolé e do Subsistema Aviação. Além desses três principais, a produção de água bruta é reforçada por poços profundos que abastecem mais 41 subsistemas de abastecimento de água isolados. Estes podem ser consultados no Apêndice A.

Segundo Prefeitura de Maceió (2016), o Subsistema Pratagy fornece 892 l/s, o Subsistema Catolé fornece 320 l/s, o Subsistema Aviação fornece 127 l/s e os poços tubulares profundos fornecem 1.003 l/s. Respectivamente correspondem a 38%, 14%, 5% e 43% do abastecimento total do município.

O tratamento das águas captadas nos mananciais superficiais é realizado em três Estações de Tratamento de Água (ETAs), uma para cada um dos três principais subsistemas: ETA Pratagy; ETA Catolé; e ETA Aviação. A água tratada é aduzida para os reservatórios espalhados pelo Município. A água bombeada dos poços é, em sua maior parte, lançada diretamente na rede para complementação da vazão.

O Sistema conta ainda com 22 estações elevatórias, possui 30 reservatórios operantes distribuídos pela cidade, os quais possuem capacidade de reservação de total de 29.390 m³. Além disso, há cerca de 60 km de adutoras e 1.300 km de rede de abastecimento.

4.3.2 Características do SAA dos bairros receptores

Os sistemas alvo do estudo são os que atendem as populações dos bairros identificados como potenciais opções de realocação (Figuras 24 e 26), que conforme estimativa de deslocamento realizada anteriormente, tendem a receber uma parcela significativa de consumidores oriundos dos sistemas das áreas afetadas, que agora estão em processo de desativação.

4.3.2.1 Zona Alta 01 – Benedito Bentes

Esta zona localiza-se no bairro do Benedito Bentes e é abastecida pelo Sistema Pratagy que concentra o volume no reservatório localizado no complexo da estação de mesmo nome. Este drena o volume de água para a rede tronco da Av. Cachoeira do Mirim e alimenta os sete DMCs (Distrito de Medição e Controle) do Complexo do Benedito Bentes 1 e 2 (DMC Garça Torta e Pratagy), além dos conjuntos do DMC Recantos. Recebe fornecimento de água do Reservatório Elevado RBB-01 com capacidade de 2.000 m³, recebe também de dois poços injetados na rede de distribuição secundária, são eles P-CJS 03 e P-BB 09. O transporte da água é realizado por adutoras e redes primárias de material Ferro Fundido com diâmetros que variam de 500 a 100mm.

4.3.2.2 Sistema Aviação

É localizado na APA (Área de Proteção Ambiental) Catolé possuindo uma ETA que trata a água de uma barragem adjacente a esse manancial, cujo reconhecimento é notório pela sociedade em termos de recreação e visitação turística do ambiente natural. Esta ETA recalca água para o REL RCU, que é o reservatório elevado do HU (Hospital Universitário) com capacidade de 2.000 m³. Este abastece a Zona Alta 03 e 04, que compreende os bairros da Cidade Universitária, Santos Dummont, Eustáquio Gomes, Clima Bom e Conjunto Medeiros Neto. Estas áreas são naturalmente setorizadas pelas separações da vegetação da parte alta. Foram considerados na simulação dois poços que injetam na rede de distribuição secundária, são eles P-EGM 01 e P-IN 02. O transporte da água é realizado por adutoras e redes primárias de material Ferro Fundido com diâmetros que variam de 500 a 150mm.

4.3.2.3 Sistema Pratagy-R1

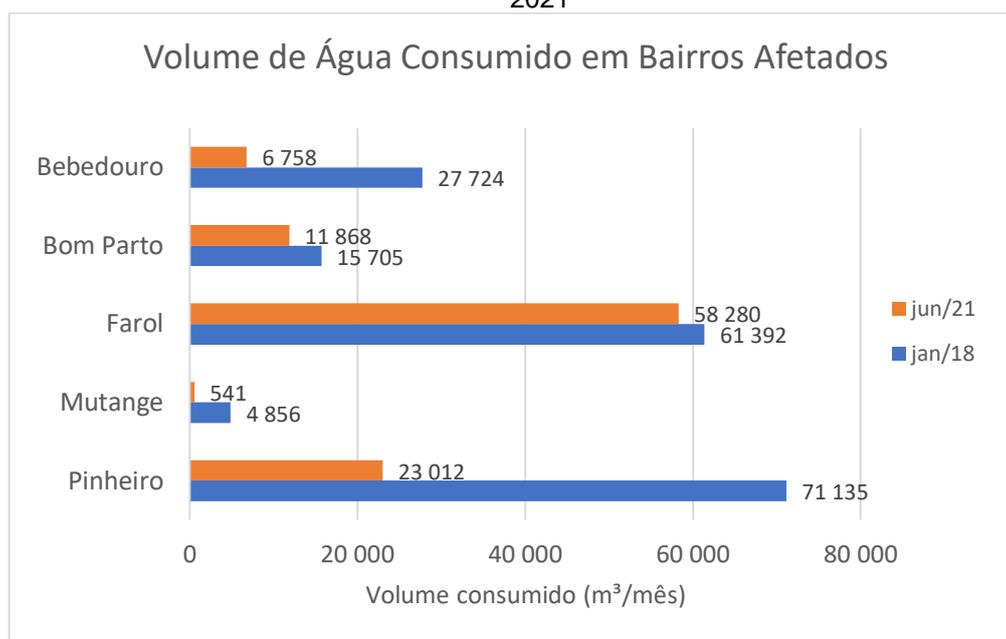
O RAP (Reservatório Apoiado) R1 é localizado numa área estratégica do Jacintinho para abastecer a Zona Baixa 01 da cidade, com capacidade de 8.000 m³, não tendo nenhuma contribuição para com este bairro supracitado. Este reservatório abastece os bairros da ZB-I com um anel de distribuição primária em Ferro Fundido com diâmetros que variam de 700 a 200mm. A distribuição do anel para as redes secundárias é gerida através de 15 DMCs, os quais são compostos por VRPs (Válvula de Redução de Pressão) e macromedidores do tipo eletromagnético carretel, sendo esses dois equipamentos em um sistema de by-pass, controlados por válvulas a jusante e a montante, e as VRPs controladas por CLP (Controle Lógico Programável).

4.3.3 Demanda de consumo de água a ser transferida

Para a determinação dos parâmetros de consumo que os bairros receptores receberão em virtude da realocação, se fez necessário o levantamento de informações de volume de água consumido pela população dos bairros afetados. Para tanto, foi utilizado como base os dados levantados por Moraes (2022), o consumo base fornecido pela Companhia de Saneamento de Alagoas (CASAL) é dado em volume consumido (m³/mês) por quadra. Para fins comparativos, os valores de volume

de água consumidos por mês dos bairros afetados, foram levantados no período de janeiro de 2018, que corresponde ao momento anterior ao evento de afundamento, e junho de 2021, que é posterior à desocupação dos imóveis da região atingida. A Figura 28 apresenta os valores anterior e posterior à evacuação dos moradores no período citado e a Tabela 9 resume porcentagem de redução do volume de água consumido nas regiões.

Figura 28: Gráfico de volume consumido (m³/mês) na área afetada em janeiro de 2018 e junho de 2021



Fonte: Moraes (2022)

Tabela 9: Porcentagem de redução do volume de água consumido em janeiro de 2018 e junho de 2021

Bairro	Redução (%)
Bebedouro	75,62
Bom Parto	24,43
Farol	5,10
Mutange	88,86
Pinheiro	67,65
TOTAL	44,45

Fonte: Moraes (2022)

Em termos de perfis sociais, a Tabela 10 apresenta a redução percentual e em m³/mês de consumo de cada perfil.

Tabela 10: Redução de consumo

Perfil Social	Consumo janeiro/18 (m³/mês)	Consumo Junho/21 (m³/mês)	Redução (m³/mês)	Redução (%)
PS-I	48.285	19.167	29.118	39,70
PS-II	132.527	81.292	51.235	61,34

Fonte: Autor (2022)

Assim, o volume de água consumido a ser transferido para as regiões receptoras, é o valor de redução que foi 29118 m³/mês para o PS-I e 51235 m³/mês para o PS-II. Seguindo a porcentagem determinada pela estimativa para distribuição da população realocada, conforme Tabelas 7 e 8 tem-se a seguinte configuração de distribuição e seus respectivos sistemas, representada pela tabela 11.

Tabela 11: Volume de consumo de água distribuído entre os bairros compatíveis

Perfil	Bairros	Sistema	Distribuição (m³/mês)	Volume de consumo a distribuir (m³/mês)
PS-I	Benedito Bentes	Zona Alta 01	6.469	29.118
	Cidade Universitária	Sistema Aviação	6.179	
	Clima Bom	Sistema Aviação	2.879	
	Santos Dumont	Sistema Aviação	2.835	
	Santa Lúcia	-	2.799	
	Jacintinho	-	2.646	
	Canaã	-	1.940	
	Ouro Preto	-	1.853	
	Outros	-	1.518	
PS-II	Serraria	-	5.124	51.235
	Ponta Verde	Sistema Pratagy-R1	5.124	
	Poço	Sistema Pratagy-R1	4.611	
	Ponta da Terra	Sistema Pratagy-R1	4.611	
	Pajuçara	Sistema Pratagy-R1	4.099	
	Mangabeiras	Sistema Pratagy-R1	4.099	
	Jardim Petrópolis	-	3.586	
	Jatiúca	Sistema Pratagy-R1	3.586	
	Gruta de Lourdes	-	3.586	
	Cruz das Almas	Sistema Pratagy-R1	2.562	
	Centro	-	2.562	
	Antares	-	2.562	
	Barro Duro	-	2.562	
	Outros	-	2.562	

Fonte: Autor (2022)

De posse das informações de consumo e de população pode-se também calcular o consumo per capita de cada região. Para a região que abrange o PS-I, obteve-se um valor de consumo médio per capita de 62,93 l/hab.dia, já para a região com perfil populacional do PS-II constatou-se um consumo médio per capita 122,98 l/hab.dia. Comparando ao consumo médio per capita (IN022), segundo SNIS do município Maceió, é de 83,82 l/hab.dia. Segundo a Organização Mundial de Saúde (OMS), uma pessoa necessita de um consumo mínimo de 110 litros de água por dia – essa medida supostamente seria suficiente para um indivíduo saciar a sede, cuidar apropriadamente da higiene e preparar os alimentos. Nota-se, portanto, mais uma vez a disparidade de padrões sociais entre os bairros afetados, agora expresso em dados de saneamento, tendo em vista a relação direta de consumo de água e qualidade de vida.

4.4 Avaliação de impactos através de simulação hidráulica

4.4.1 Zona Alta 01 – Benedito Bentes

A região de abastecimento conhecida como Zona Alta 01 com localização no Benedito Bentes, segundo a estimativa realizada na etapa de tendências de deslocamento, recebeu em torno de 22% da população compatível com o PS-I e um volume de consumo de água de 6.469 m³/mês, convertendo esse valor para a unidade utilizada no modelo hidráulico, tem-se 2,496 l/s. A Figura 29 mostra as redes adutoras e primárias da zona, que redirecionam a água de um reservatório e dois poços disponíveis, para entregas nas entradas de DMCs, onde se conectam com a malha de distribuição de redes secundárias.

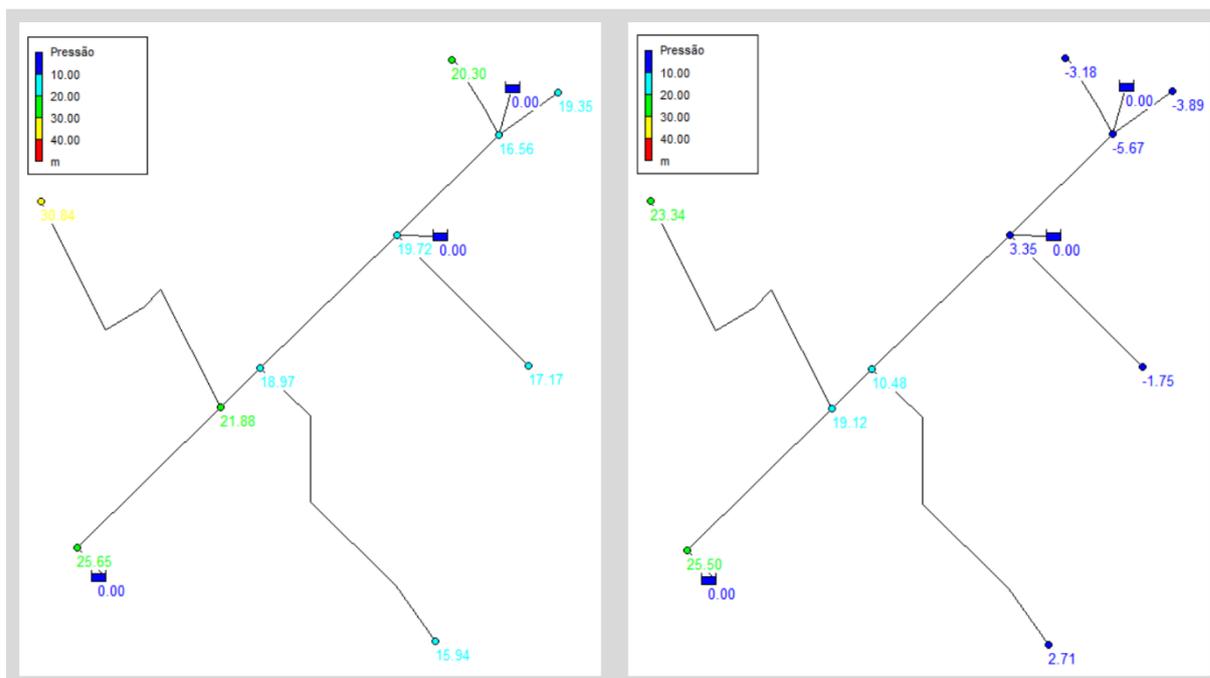
Figura 29: Traçado de linhas-tronco da Zona Alta 01 do bairro Benedito Bentes



Fonte: Autor (2022)

No cenário atual, nos horários de menor e maior consumo, respectivamente às 5:00 horas e às 12:00 horas, foi constatado a seguinte configuração de pressões nos nós, conforme mostrado na Figura 30.

Figura 30: Pressão dinâmica (mca) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário atual da Zona Alta 01

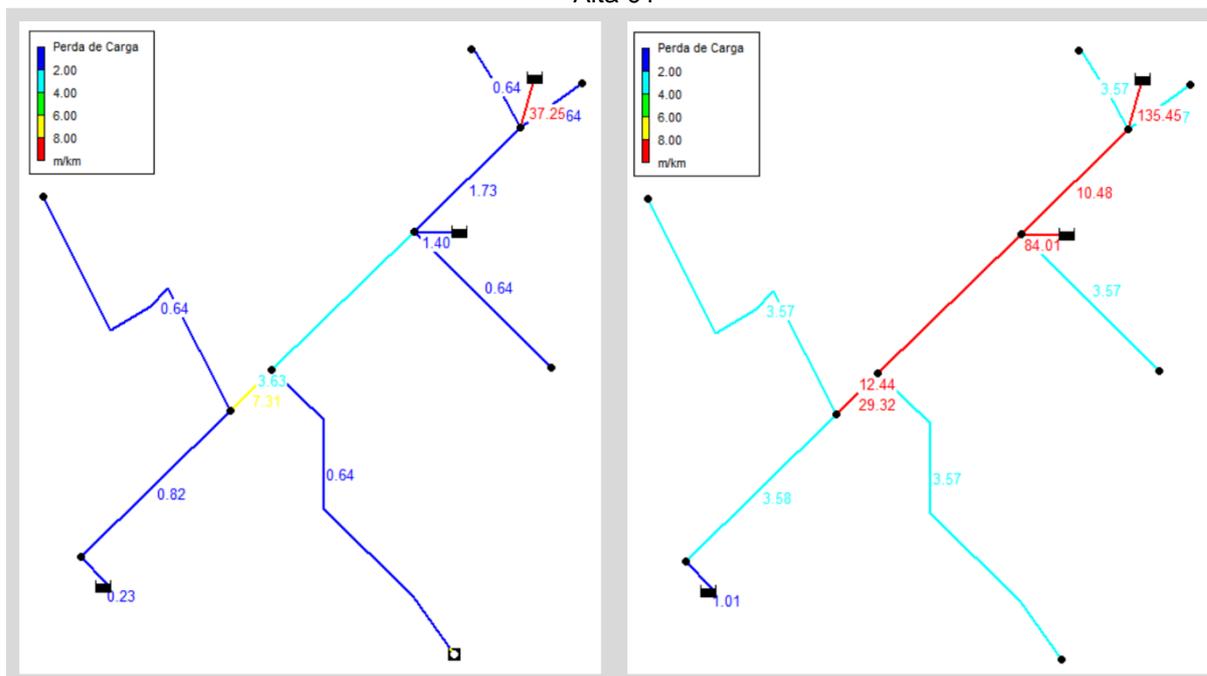


Fonte: Autor (2022)

Nota-se que há significativa diferença ao se verificar os resultados em horários distintos. Enquanto no horário de menor demanda (03:00h) as pressões nos nós – que conforme NBR 12.218/2017 deve apresentar mínimo de 10 mca e máximo 40 mca – estão dentro do limite estabelecido, no horário de maior demanda (12:00h) mais da metade do sistema apresenta pressões abaixo de 10 mca, inclusive algumas negativas, não atendendo os pré-requisitos da norma.

De semelhante modo, a configuração de perda de carga na rede, conforme Figura 31, se mostra dentro do limite normatizado se verificado no horário de menor consumo – exceto por um trecho de rede logo após a saída do reservatório, que se justifica pela alta turbulência da água na saída do mesmo – já no horário de maior consumo, apresenta trechos acima dos limites orientados pela NBR 12218, que estabelece valor de perda de carga máxima de 10 m/km. Para verificação da perda de carga foi definido o limite máximo de 8 m/km, que é utilizado por algumas companhias para uso de margem de segurança.

Figura 31: Perda de carga (m/km) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário atual da Zona Alta 01

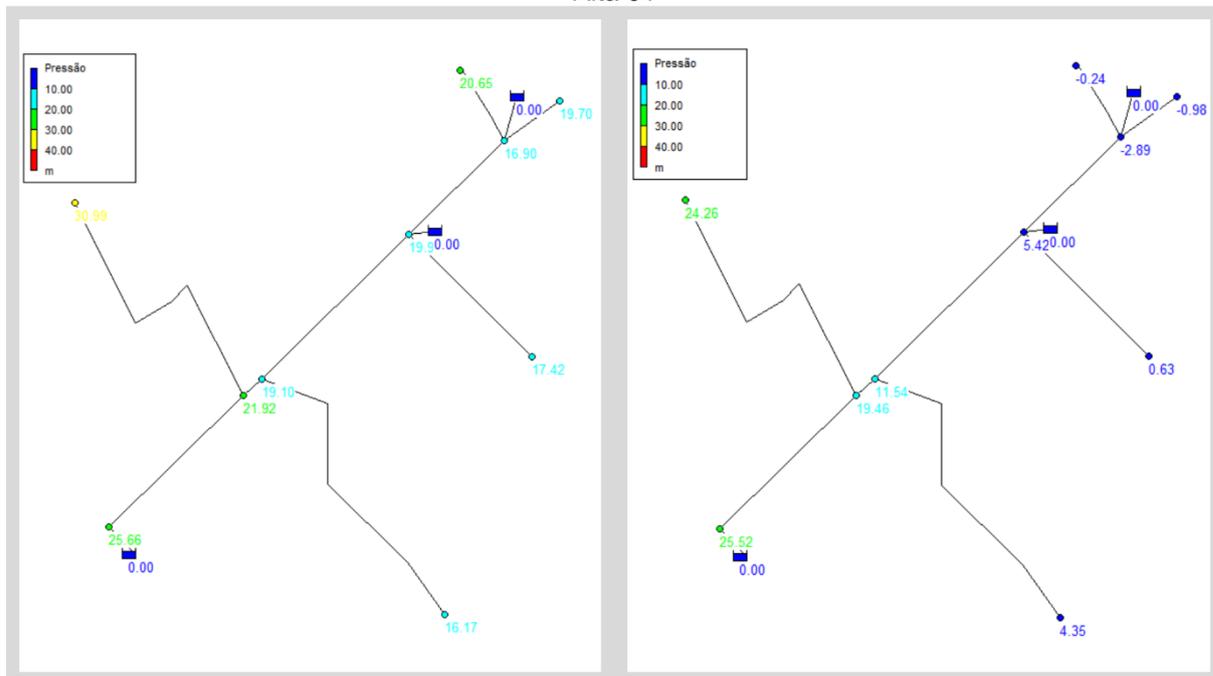


Fonte: Autor (2022)

Atualmente, segundo relato técnico do servidor da CASAL, esse problema está sendo mitigado com medidas emergenciais de estrangulamento de registros em pontos estratégicos das linhas, realizadas pela equipe de operação da empresa responsável, BRK Ambiental. Esta ação consiste em diminuir a vazão fornecida a um DMC que esteja com maior disponibilidade de pressão, favorecendo o direcionamento da água para os DMCs com pouca pressão nas redes.

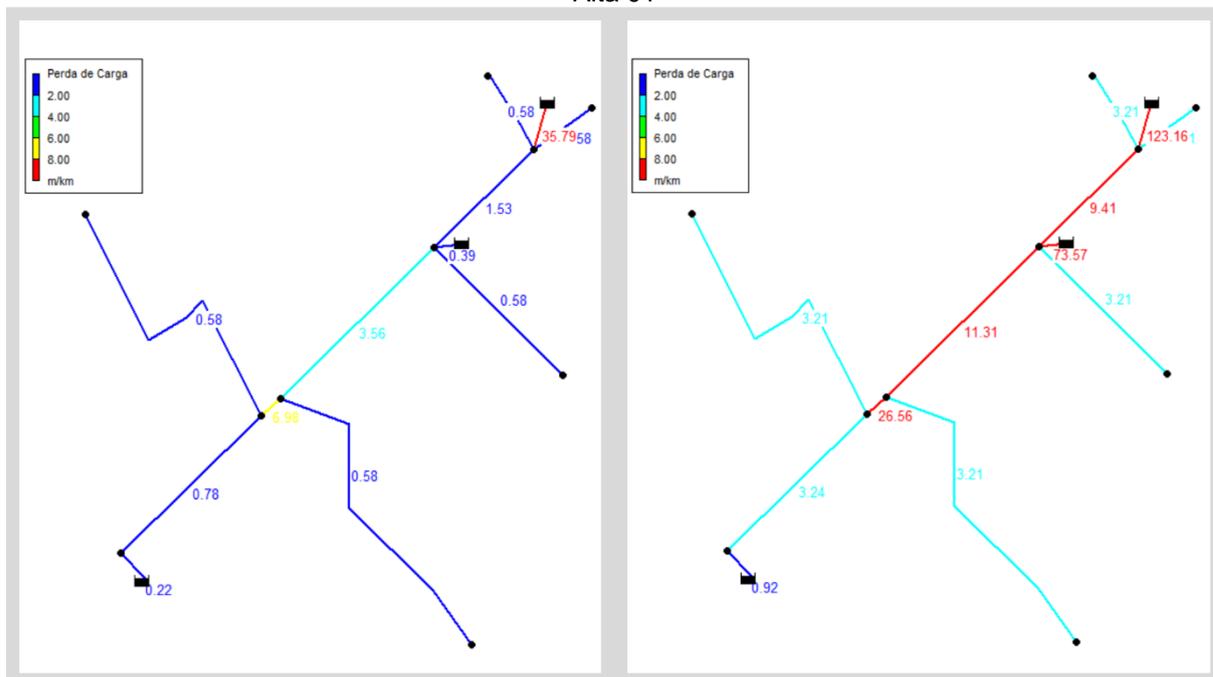
Retirando o valor de volume de demanda de água recepcionado no sistema durante a realocação dos novos moradores, obtém-se o cenário antigo. Nas Figuras 32 e 33, são destacados os cenários antigos de pressão dinâmica (mca) e perda de carga (m/km), nos horários de menor e maior consumo do dia.

Figura 32: Pressão dinâmica (mca) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário antigo da Zona Alta 01



Fonte: Autor (2022)

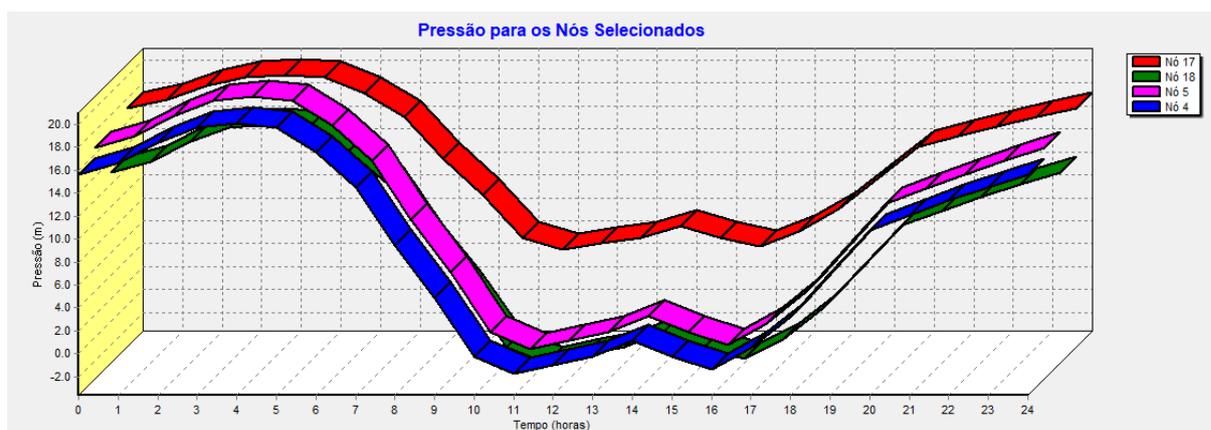
Figura 33: Perda de carga (m/km) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário antigo da Zona Alta 01



Fonte: Autor (2022)

Os nós com comportamento de pressões mais críticos estão destacados no gráfico da Figura 32.1, estes nós são pontos de atenção no cenário atual do sistema por se localizarem mais distantes do reservatório de alimentação. No gráfico pode-se verificar que as pressões variam entre valores negativos e positivos no decorrer do dia, indo de valores próximos de -2 mca até aproximadamente 24 mca.

Figura 32.1: Gráfico de série temporal de comportamento de pressões durante o dia nos nós destacados



Fonte: Autor (2022)

Comprando as diferenças de pressão e perdas de carga encontradas, com o cenário atual, há pequenas melhorias nesses parâmetros, porém não o suficiente para mudar de maneira drástica o cenário geral que se encontra atualmente, visto que, os trechos que no cenário atual estão fora dos padrões da norma, já se encontravam dessa maneira no cenário antigo. O gráfico da Figura

Em valores percentuais, do cenário antigo para o atual houve uma redução de 19,6% na pressão dos nós, sendo que o nó com maior mudança apresentou redução de aproximadamente 3 mca. Se analisado isoladamente, aparenta ser um valor pequeno, porém para uma região que, como visto na simulação do cenário antigo da Figura 32, já sofria com baixas pressões, torna-se um fator adicional à situação desfavorável em que já se encontrava a Zona de Abastecimento em questão.

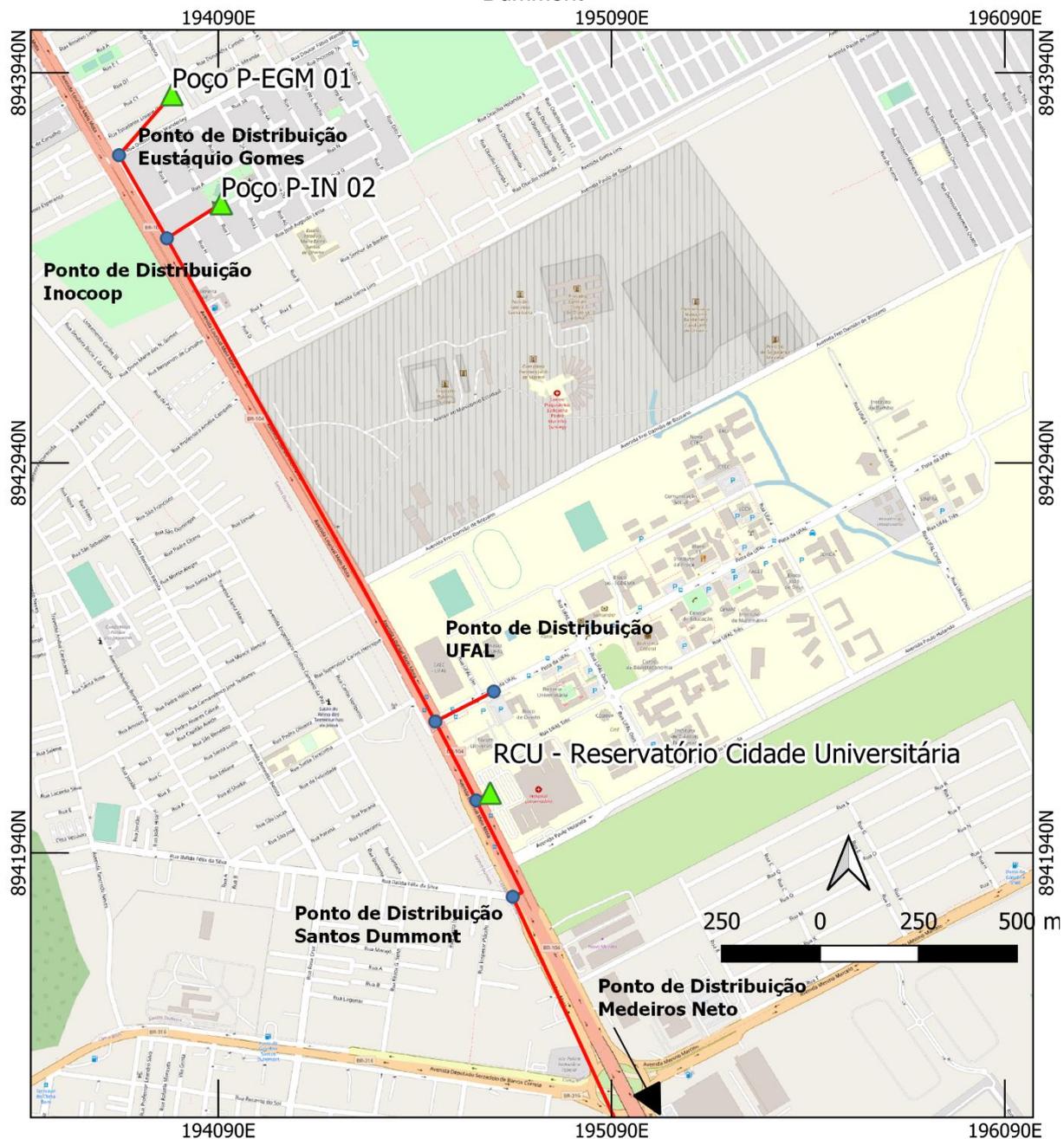
No parâmetro de perda de carga, houve um aumento de perda do cenário antigo para o atual de 9,6%, sendo que o trecho com maior mudança apresentou aumento de aproximadamente 2,8 m/km. De maneira semelhante, o acréscimo de perda contribui negativamente na região de abastecimento estudada.

Os resultados obtidos de redução de pressão dinâmica e aumento de perda de carga do cenário antigo para o atual, considerando que houve um incremento de demanda, são coerentes com o que a teoria explica: quanto maior a demanda do uso de água, maior será a turbulência no interior do tubo e conseqüentemente maior a perda de carga; e quanto maior a demanda do uso de água, menor será a pressão nos nós, acarretando possível falta de água.

4.4.2 Sistema Aviação

A região de abastecimento Sistema Aviação que abrange, dentre os locais estimados para realocação, os bairros da Cidade Universitária e Santos Dummont, que segundo a estimativa de tendências de deslocamento, receberam respectivamente em torno de 21% e 10% da população compatível com o PS-I e um somatório de volume de consumo de água correspondente a 9.014 m³/mês, convertendo esse valor para a unidade utilizada no modelo hidráulico, tem-se 3,478 l/s. A Figura 34 mostra as redes adutoras e primárias do sistema, que redirecionam a água de um reservatório e dois poços disponíveis, para entregas nas entradas de DMCs, onde se conectam com a malha de distribuição de redes secundárias.

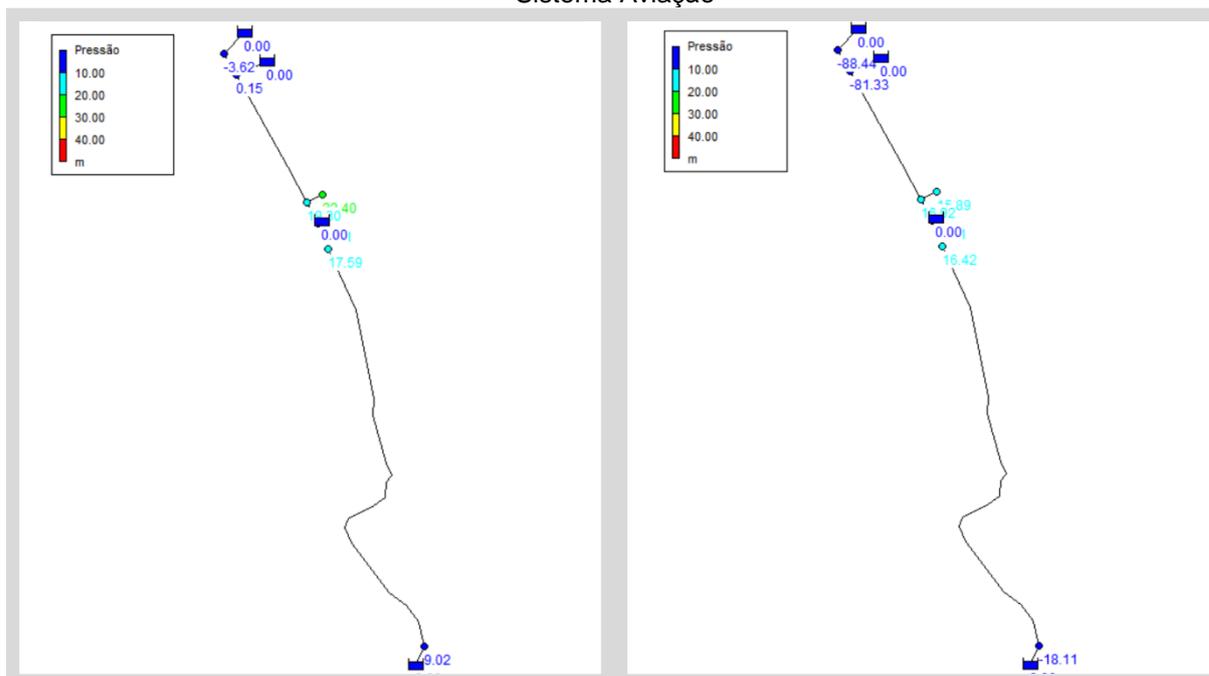
Figura 34: Traçado de linhas-tronco do Sistema Aviação dos bairros Cidade Universitária e Santos Dummont



Fonte: Autor (2022)

No cenário atual, nos horários de menor e maior consumo, respectivamente às 5:00 horas e às 12:00 horas, foi constatado a seguinte configuração de pressões nos nós, conforme mostrado na Figura 35.

Figura 35: Pressão dinâmica (mca) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário atual do Sistema Aviação

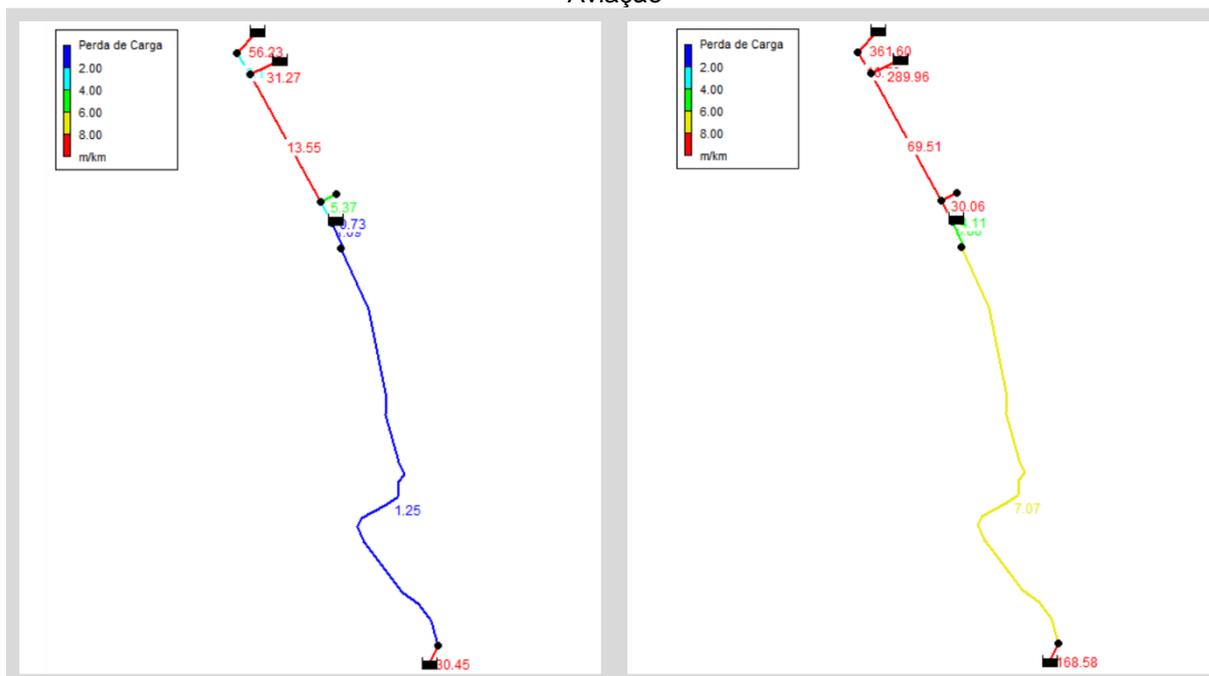


Fonte: Autor (2022)

Assim como na Zona Alta 01 há significativa diferença ao se verificar os resultados em horários distintos, porém, neste caso em ambos os cenários a maioria dos nós do sistema encontra-se fora dos limites de pressão da NBR 12.218. Enquanto no horário de menor demanda (03:00h) as pressões nos nós estão próximas de zero, no horário de maior demanda (12:00h) os pontos mais críticos atingem valores negativos muito altos chegando até a -88 mca.

De semelhante modo, a configuração de perda de carga na rede, conforme Figura 36, se mostra fora do limite normatizado ainda no horário de menor consumo em alguns trechos; já no horário de maior consumo, apresenta valores ainda mais distantes dos limites orientados pela NBR 12218 e do valor limite adotado de 8 m/km.

Figura 36: Perda de carga (m/km) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário atual do Sistema Aviação

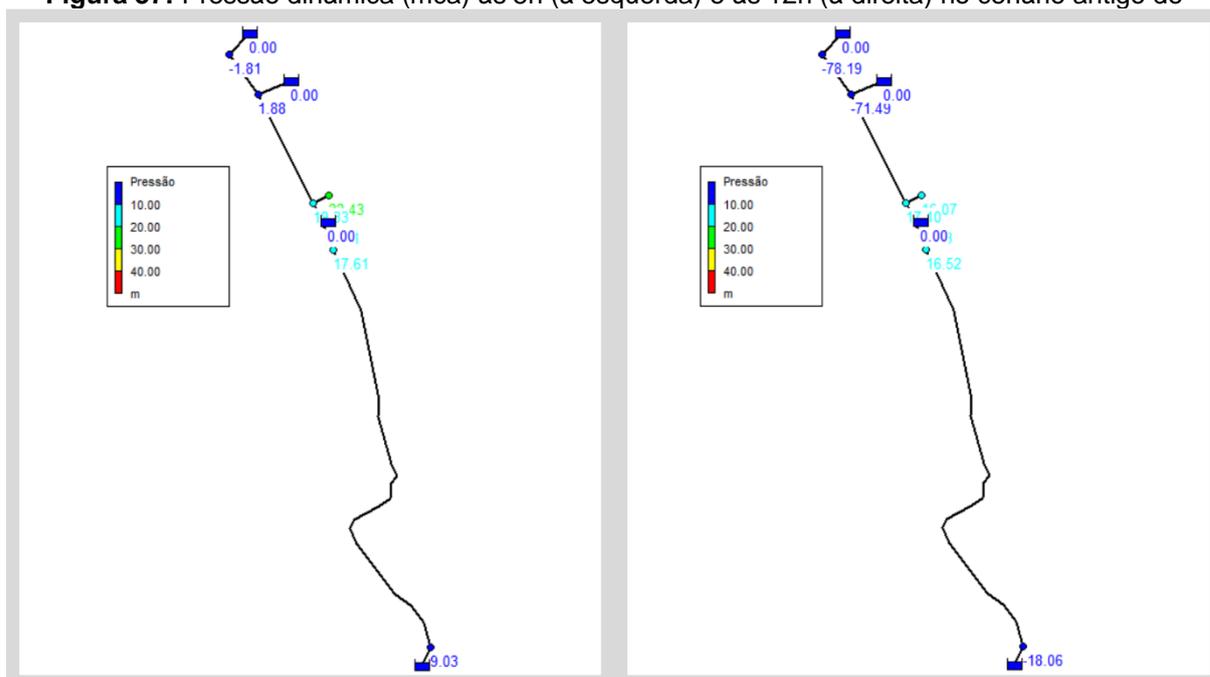


Fonte: Autor (2022)

Devido a magnitude dos resultados, existe a possibilidade de que o modelo não esteja retratando com precisão o cenário que o sistema está passando, porém, conforme a descrição feita pelo servidor da companhia, os moradores dos bairros abastecidos pelo sistema sofrem com falta de água diariamente e medidas emergenciais são tomadas pela empresa operadora do sistema (estrangulamento de registros, aumento de nível de reservatórios) para suprir a necessidade de água, que básica para a população. Desta forma, ainda é razoável considerar o cenário de não suprimento da demanda, por motivos de deficiência de pressão e excesso de perdas de carga nos tubos, mostrado pelo modelo.

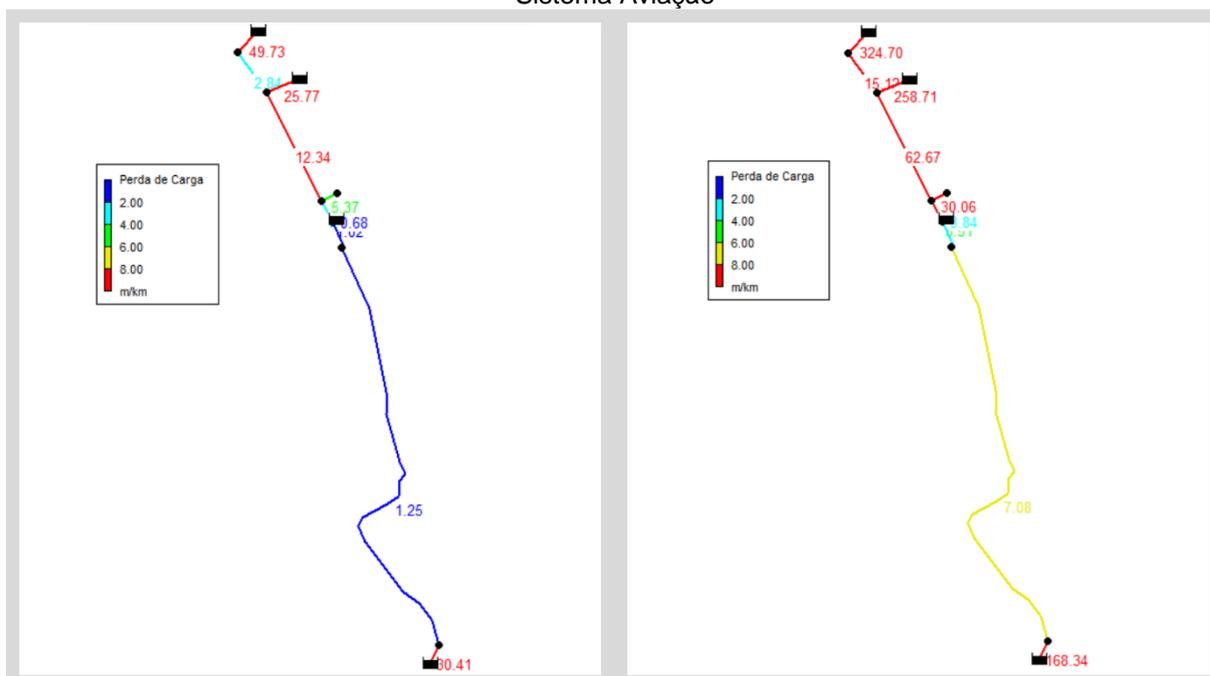
Retirando o valor de volume de demanda de água recepcionado no sistema durante a realocação dos novos moradores, obtém-se o cenário antigo. Nas Figuras 37 e 38, são destacados os cenários antigos de pressão dinâmica (mca) e perda de carga (m/km), nos horários de menor e maior consumo do dia.

Figura 37: Pressão dinâmica (mca) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário antigo do



Fonte: Autor (2022)

Figura 38: Perda de carga (m/km) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário antigo do Sistema Aviação



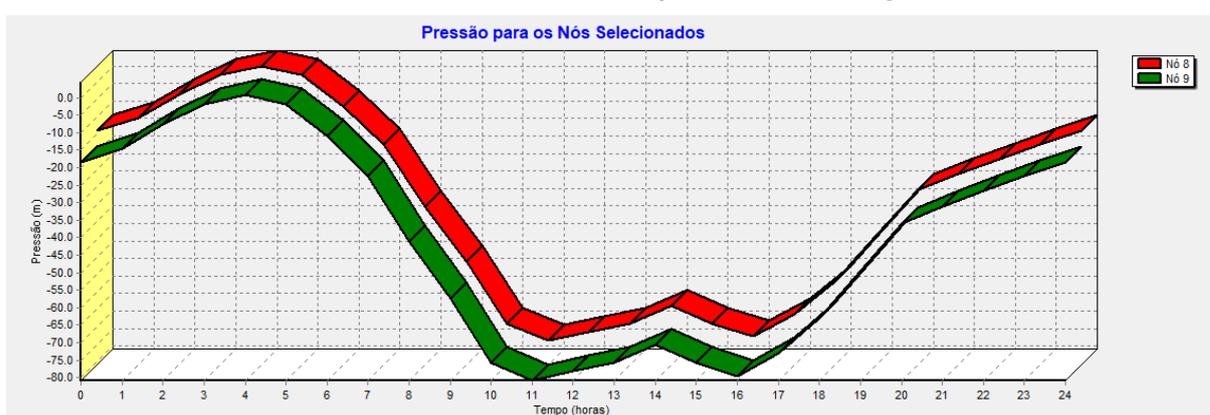
Fonte: Autor (2022)

Comparando as diferenças de pressão e perdas de carga encontradas, com o cenário atual, há melhorias constatadas nesses parâmetros, porém não o suficiente para mudar de maneira drástica o cenário geral que se encontra atualmente, visto

que, os trechos que no cenário atual estão fora dos padrões da norma, já se encontravam dessa maneira no cenário antigo.

Os nós com comportamento de pressões mais críticos estão destacados no gráfico da Figura 37.1, estes nós são pontos de atenção no cenário atual do sistema por apresentarem os valores mais distantes dos valores preconizados por norma. No gráfico pode-se verificar que as pressões variam entre valores negativos e positivos no decorrer do dia, indo de valores próximos de -80 mca até aproximadamente 2 mca.

Figura 37.1: Gráfico de série temporal de comportamento de pressões durante o dia nos nós destacados do Sistema Aviação no cenário antigo



Fonte: Autor (2022)

Em valores percentuais, do cenário antigo para o atual houve uma redução de 16,6% na pressão dos nós, sendo que o nó com maior mudança apresentou redução de aproximadamente 10 mca. Para uma região que, como visto na simulação do cenário antigo da Figura 37, já sofria com baixas pressões, este resultado torna-se um fator adicional à situação desfavorável em que já se encontrava o sistema em questão.

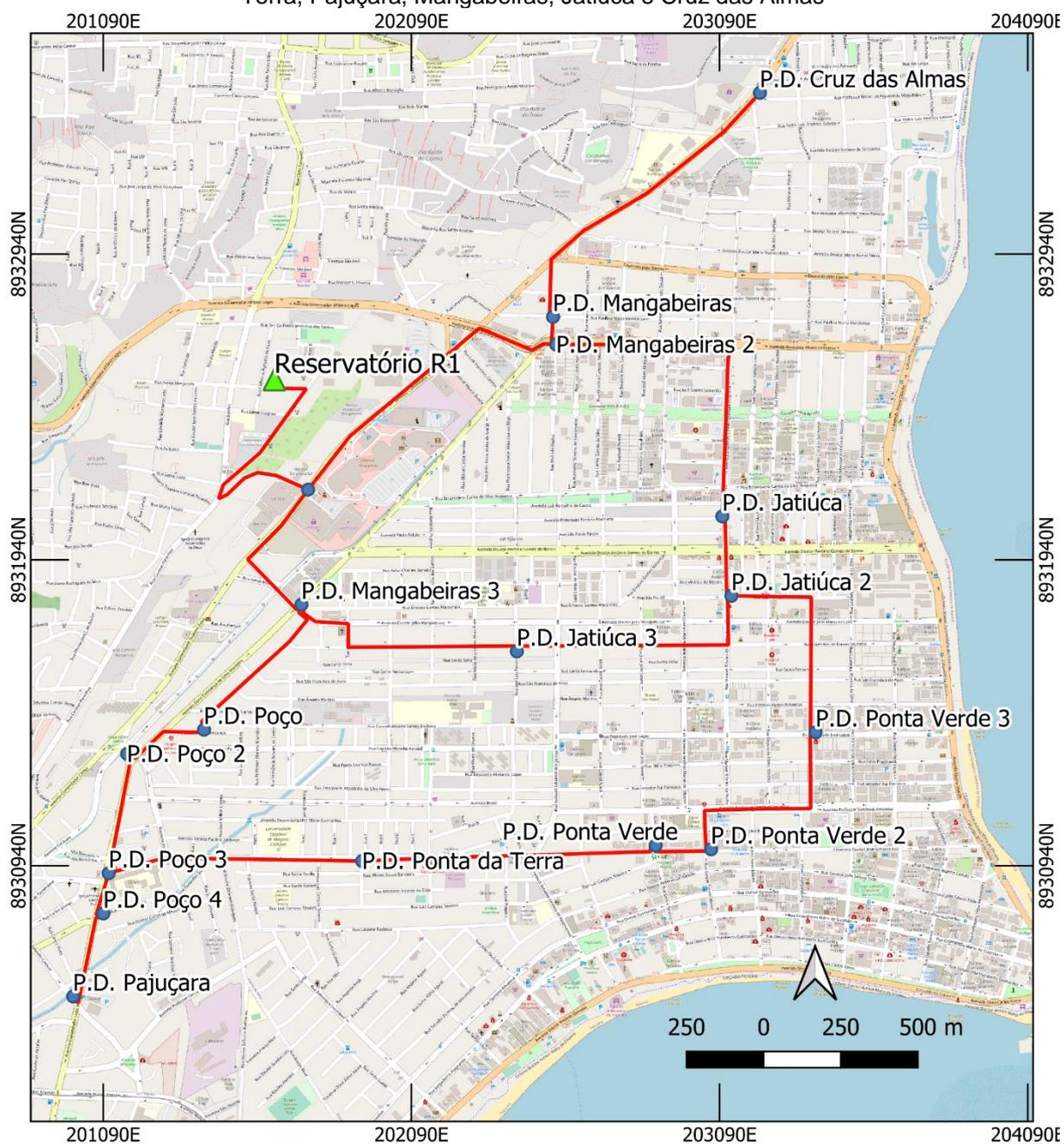
No parâmetro de perda de carga, houve um aumento de perda do cenário antigo para o atual de 6,8%, sendo que o trecho com maior mudança apresentou aumento de aproximadamente 6,8 m/km. De maneira semelhante, o acréscimo de perda contribui negativamente na região de abastecimento estudada.

Novamente, os resultados obtidos de redução de pressão dinâmica e aumento de perda de carga do cenário antigo para o atual, considerando que houve um incremento de demanda, são comportamentos coerentes com o esperado.

4.4.4 Sistema Pratygy-R1

A região do Sistema Pratygy-R1 abrange, dentre os locais estimados para realocação, os bairros de Ponta Verde, Poço, Ponta da Terra, Pajuçara, Mangabeiras, Jatiúca e Cruz das Almas; que segundo a estimativa de tendências de deslocamento, receberam juntos 56% da população compatível com o PS-II e possuem um somatório de volume de consumo de água correspondente a 28.692 m³/mês, convertendo esse valor para a unidade utilizada no modelo hidráulico, tem-se 11,069 l/s. A Figura 39 mostra as redes adutoras e primárias do sistema, que redirecionam a água de um único reservatório, para entregas nas entradas de DMCs, através de um anel de distribuição que, nos nós denominados como P.D. (Ponto de Distribuição), se conectam com a malha de distribuição de redes secundárias.

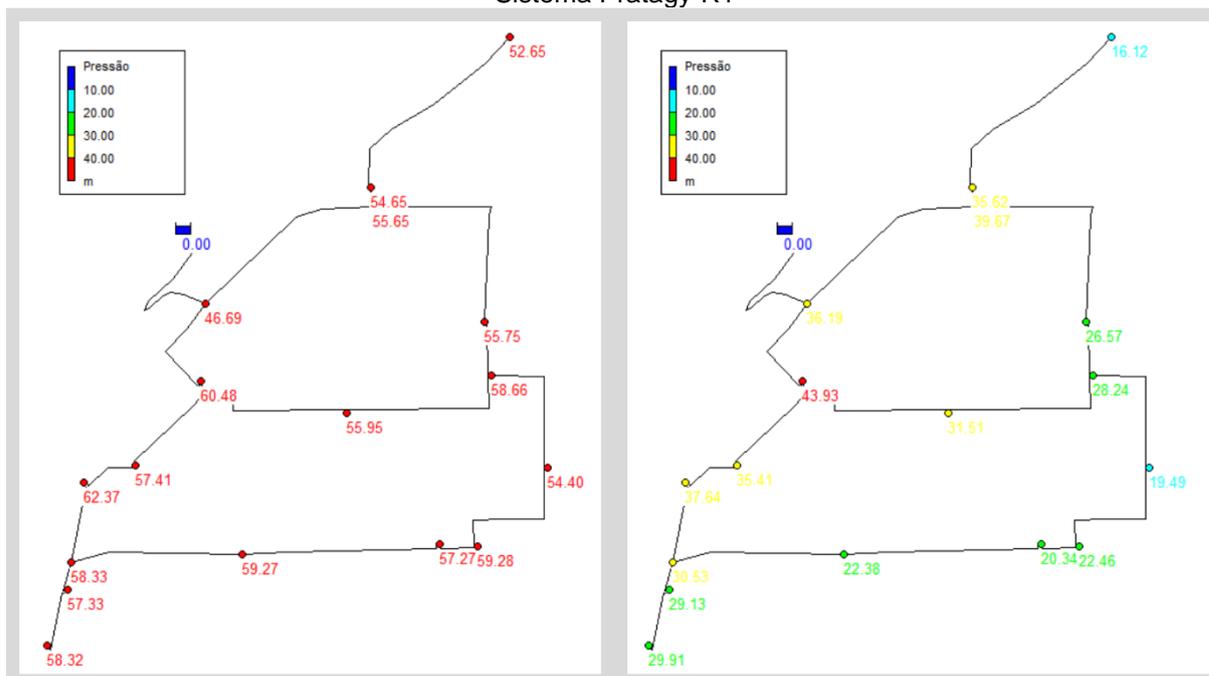
Figura 39: Traçado de linhas-tronco do Sistema Pratagy-R1 dos bairros Ponta Verde, Poço, Ponta da Terra, Pajuçara, Mangabeiras, Jatiúca e Cruz das Almas



Fonte: Autor (2022)

O padrão de consumo da população do Sistema Pratagy-R1 se mostrou diferente dos demais, sendo o horário de menor consumo às 3:00 horas e o de maior consumo às 14:00 horas. No cenário atual, nos horários de menor e maior consumo, foi constatado a seguinte configuração de pressões nos nós, conforme mostrado na Figura 40.

Figura 40: Pressão dinâmica (mca) às 3h (à esquerda) e às 14h (à direita) no cenário atual do Sistema Pratagy-R1



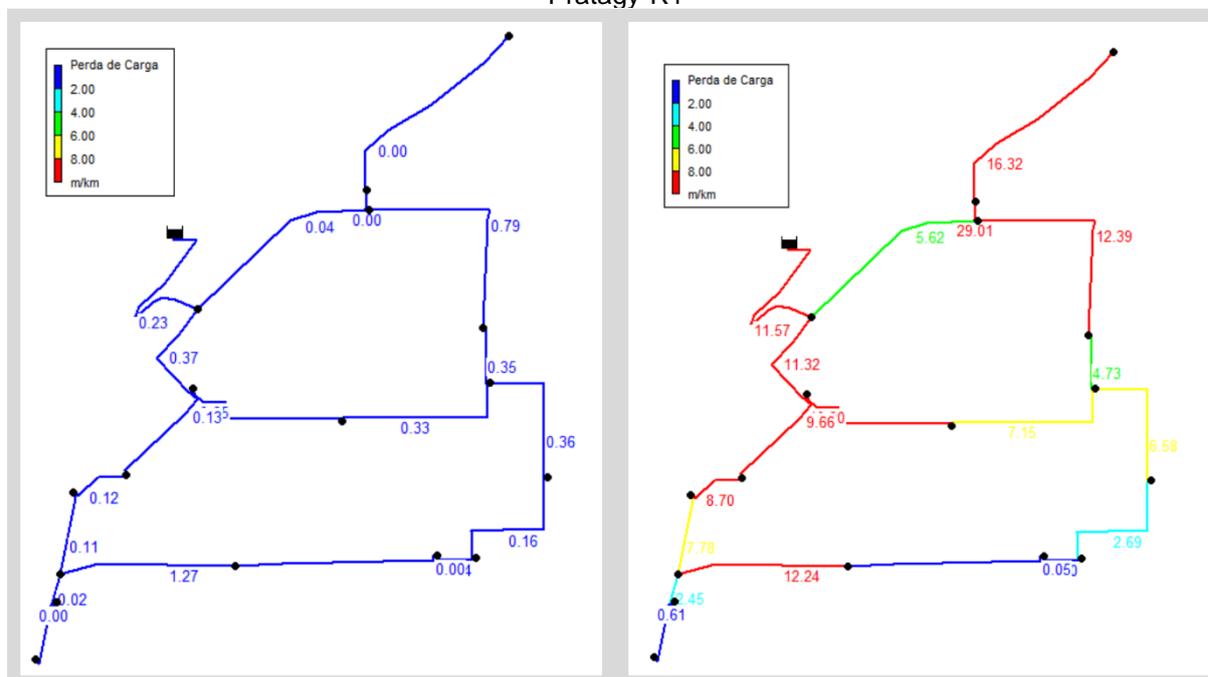
Fonte: Autor (2022)

Neste caso, a simulação mostrou cenários completamente diferentes dos cenários constatados na parte alta da cidade, onde as pressões estão adequadas nos horários de maior consumo (à direita) com somente um nó ultrapassando o limite; e nos horários de menor consumo (à esquerda) todo o sistema consta acima do limite de 40 mca. Os problemas de pressões excessivas acarretam um maior número de perdas, pois pressões altas causam fissuras nas redes e conexões, gerando vazamentos. Porém, neste caso em análise, essas pressões estão sobre as redes de linha-tronco, que são redes mais robustas, sendo mais preparadas para suportar maiores pressões. A situação se torna crítica em caso de transferência dessas pressões para as redes de distribuição secundária – que possuem menor diâmetro – o que não ocorre no Sistema Pratagy-R1, pois o mesmo conta com a ação de VRPs instaladas nos pontos de distribuição em que as redes primárias injetam água na rede secundária. Desse modo, as pressões excessivas são controladas, de maneira que ao passar pela VRP, as redes secundárias recebem as pressões suficientes para atendimento mínimo de 10 mca e máximo de 40 mca em todos os nós da malha.

Já para a configuração de perda de carga na rede, conforme mostrado na Figura 41, a simulação não apresenta trechos fora do limite adotado de 8m/km no horário de menor consumo (à esquerda); já no horário de maior consumo (à direita),

os valores de perda de carga excedem o limite em 8 trechos de rede e chegam a atingir 29,1 m/km, este resultado se dá pela alta demanda de consumo da região, aumentando a turbulência da água no interior do tubo.

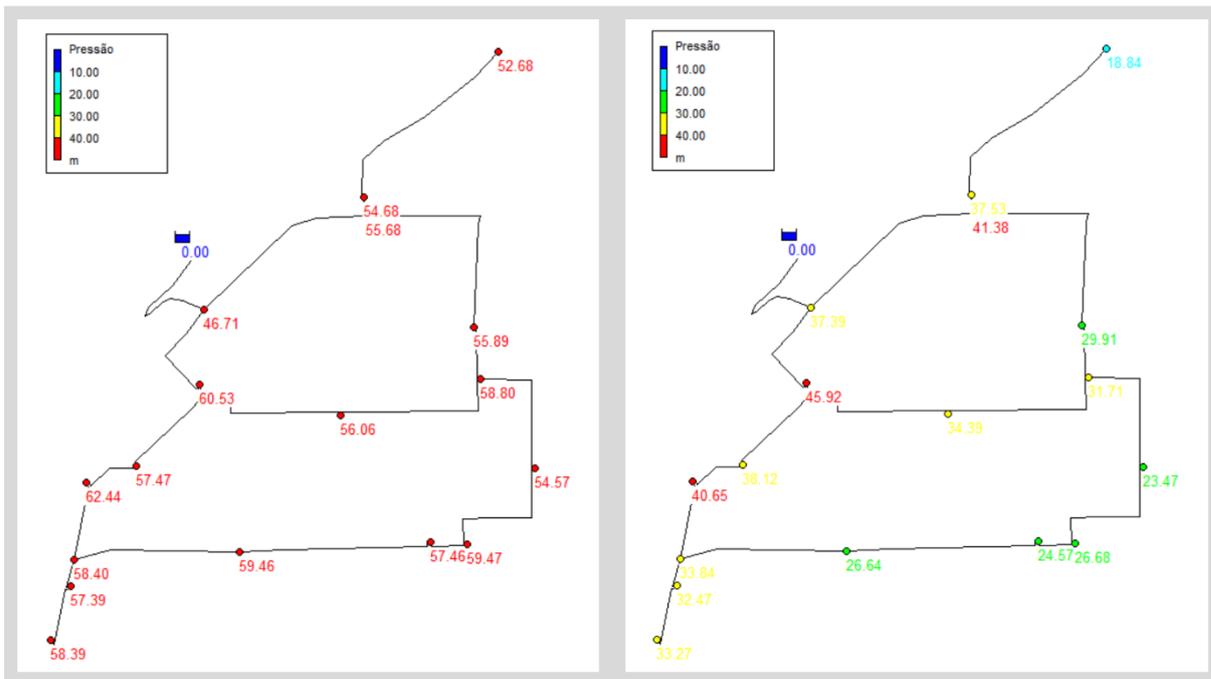
Figura 41: Perda de carga (m/km) às 3h (à esquerda) e às 14h (à direita) no cenário atual do Sistema Pratygy-R1



Fonte: Autor (2022)

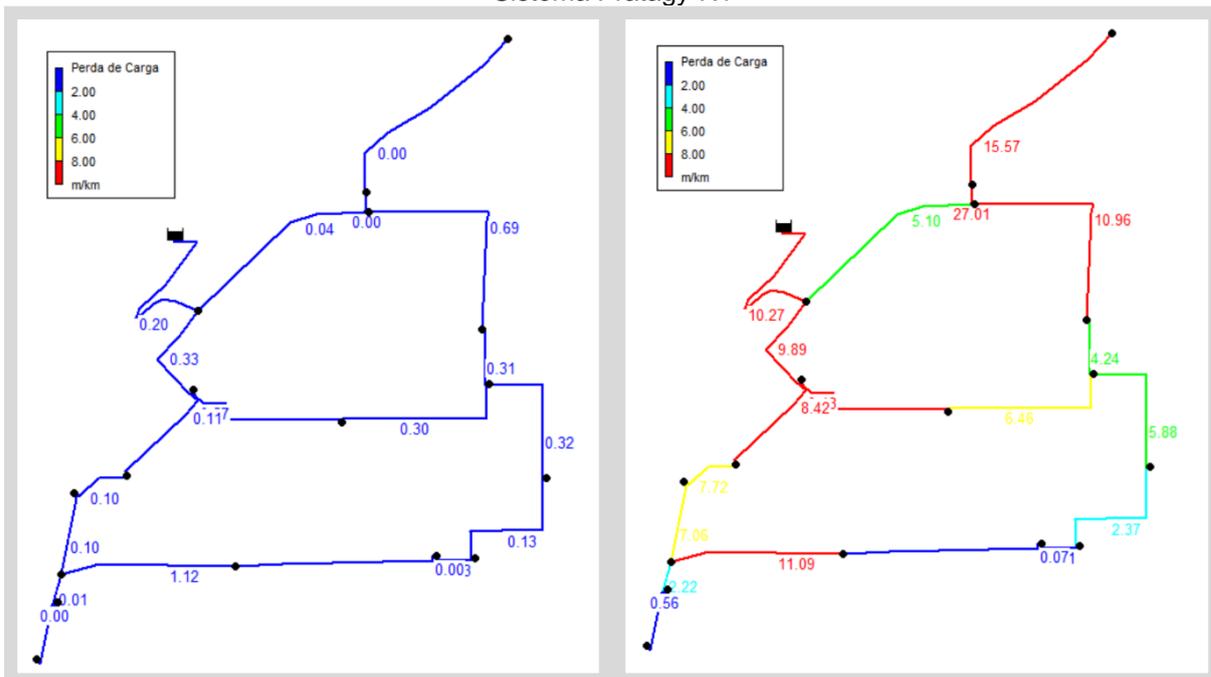
Retirando o valor de volume de demanda de água recepcionado no sistema durante a realocação dos novos moradores, obtém-se o cenário antigo. Nas Figuras 42 e 43, são destacados os cenários antigos de pressão dinâmica (mca) e perda de carga (m/km), nos horários de menor e maior consumo do dia.

Figura 42: Pressão dinâmica (mca) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário antigo do Sistema Pratygy-R1



Fonte: Autor (2022)

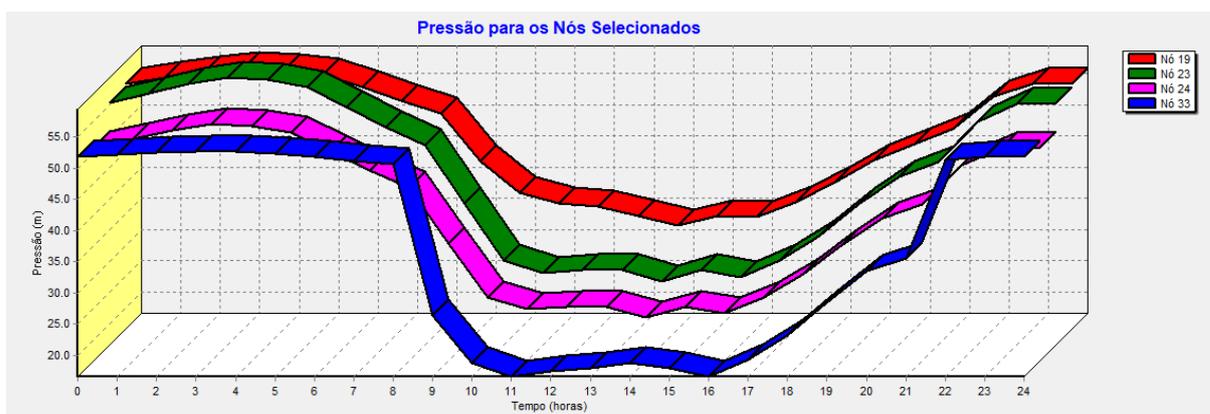
Figura 43: Perda de carga (m/km) às 5h (à esquerda) e às 12h (à direita) no cenário antigo do Sistema Pratygy-R1



Fonte: Autor (2022)

Os nós com comportamento de pressões mais críticos estão destacados no gráfico da Figura 42.1, estes nós são pontos de atenção no cenário antigo do sistema por estarem nas extremidades do sistema, logo, mais distantes do reservatório. No gráfico pode-se verificar que as pressões variam entre valores negativos e positivos no decorrer do dia, indo de valores próximos de -80 mca até aproximadamente 2 mca.

Figura 42.1: Gráfico de série temporal de comportamento de pressões durante o dia nos nós destacados do Sistema Pratygy-R1 no cenário antigo



Fonte: Autor (2022)

Como esse sistema encontra-se atualmente com melhor equilíbrio que os demais verificados, ao se comparar os cenários antigos com atual, pode-se notar em termos de pressão dinâmica que o cenário antigo apresentava um cenário um pouco mais crítico, pois apresentava três nós com excesso de pressão, em contrapartida de somente um nó com excesso de pressão no cenário atual no horário de maior consumo. O fenômeno se dá exatamente igual às simulações anteriores (aumento de demanda, diminuição da pressão) porém, nesse caso a migração da população fez um efeito positivo na pressão dinâmica do local, diminuindo a pressão em locais com excesso, contribuindo com a adequação do parâmetro à norma técnica. Já a perda de carga apresentou um pequeno aumento do cenário antigo para o atual, principalmente no horário de maior consumo. Isto justifica-se pelo fato de haver incremento na demanda e, conseqüentemente, maior turbulência do fluido.

Em valores percentuais, do cenário antigo para o atual houve uma redução de 9,6% na pressão dos nós, sendo que o nó com maior mudança apresentou redução de aproximadamente 5 mca.

No parâmetro de perda de carga, houve um aumento de perda do cenário antigo para o atual de 9,3%, sendo que o trecho com maior mudança apresentou aumento de aproximadamente 2 m/km.

Mais uma vez, os resultados obtidos de redução de pressão dinâmica e aumento de perda de carga do cenário antigo para o atual, considerando que houve um incremento de demanda, são comportamentos coerentes com o esperado.

A Tabela 12 apresenta um resumo das reduções e acréscimos encontrados nas simulações, além das diferenças percentuais obtidas entre os cenários antigo e atual.

Tabela 12: Resumo de reduções e acréscimos dos parâmetros considerado do cenário antigo para o atual

Sistema	Pressão		Perda de Carga	
	Redução média (mca)	Redução percentual (%)	Acréscimo médio (mca)	Acréscimo percentual (%)
Zona Alta 01	1,705	19,6	0,79	9,6
Sistema Aviação	2,95	16,6	1,58	6,8
Sistema Pratygy-R1	3,14	9,6	0,79	9,2

Fonte: Autor (2022)

4.5 Estratégias para minimização dos impactos

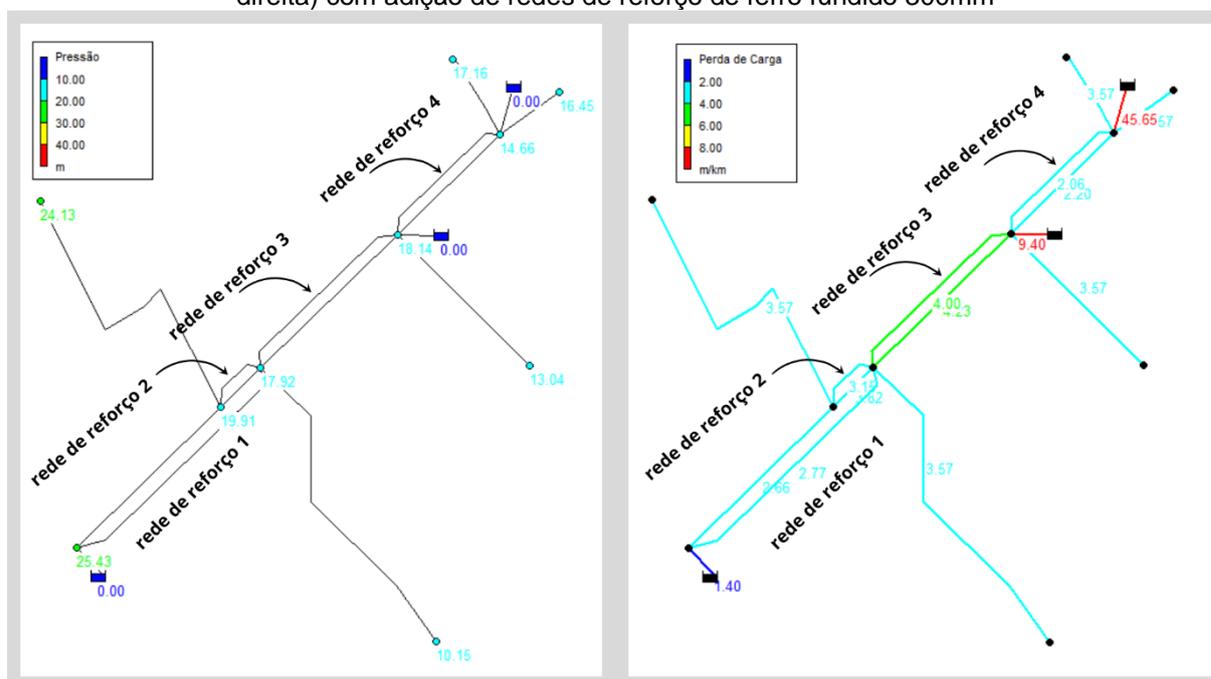
Foram definidas estratégias diferentes para cada sistema, tendo em vista as particularidades de cada um conforme segue abaixo:

4.5.1 Zona Alta 01 – Benedito Bentes

Para a Zona Alta 01, no Benedito Bentes, visando a melhoria das pressões muito baixas, que forçam a tomada de medidas improvisadas de estrangulamento de registros, foram propostas 4 redes de reforço, paralelas a rede adutora. O material definido para a rede de reforço foi DEFoFo, sendo um tipo de material constituído de MPVC, ou seja, PVC modificado, sendo mais resistente. Se trata de um material mais frequentemente utilizado pelas companhias por sua facilidade no mercado, baixo custo se comparado às redes de ferro e praticidade por possuir diâmetros compatíveis aos tubos de ferro fundido, facilitando assim a execução das conexões para a realização das derivações. O coeficiente de rugosidade foi definido como sendo de 140 conforme recomendação de Azevedo Netto (1998) para tubos de PVC, que é material semelhante ao DEFoFo; já o diâmetro foi definido em 300mm baseado em

testes no modelo, de modo que este atendesse aos critérios de pressão e perda de carga da norma no horário pico de consumo. O resultado da simulação hidráulica realizada pode ser observado na Figura 44 que destaca o novo cenário de pressões (à direita) e o novo cenário de perdas de carga (à esquerda).

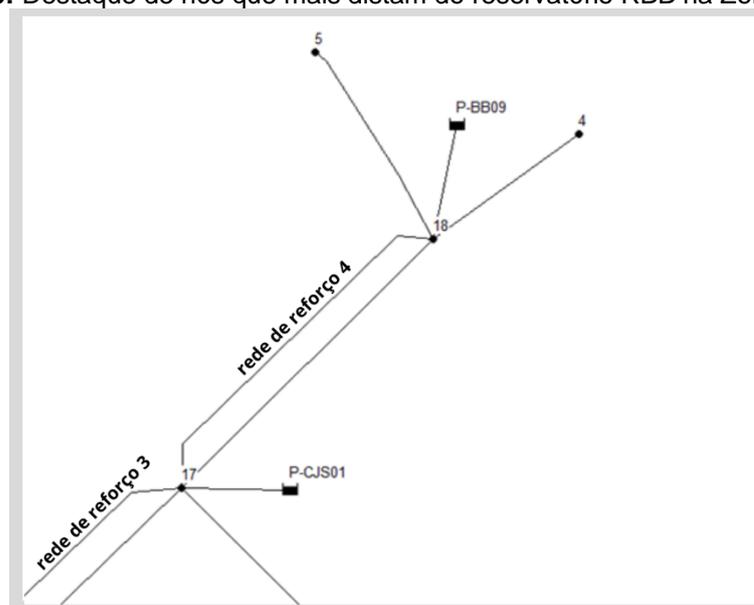
Figura 44: Novo cenário de pressão dinâmica (à esquerda) e novo cenário de perda de carga (à direita) com adição de redes de reforço de ferro fundido 300mm



Fonte: Autor (2022)

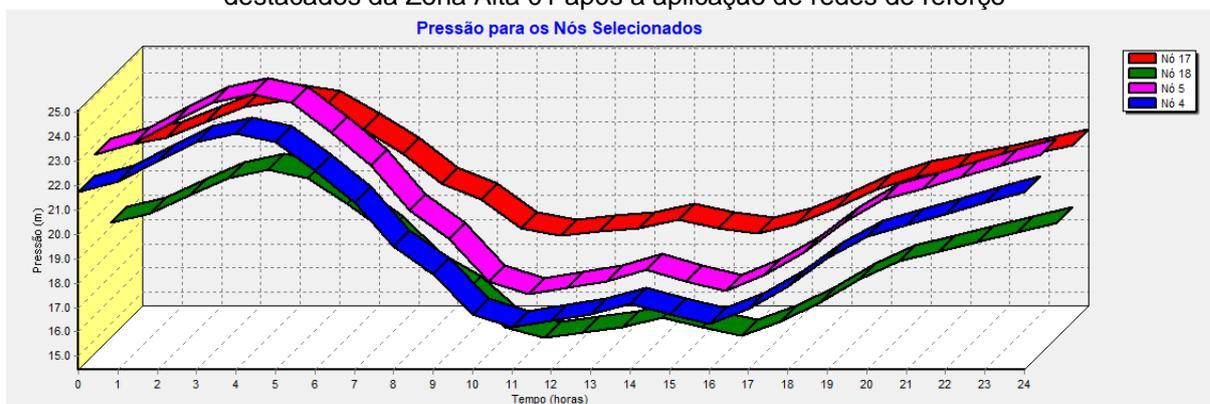
Nota-se, que a proposta de redes de reforço supre as demandas do sistema e atende às exigências da norma de pressões entre 10 e 40 mca e perdas de carga de no máximo 8 m/km. Os nós destacados na Figura 45 têm o seu comportamento de pressões expresso no gráfico de pressões nos nós, mostrado na Figura 46, estes nós são pontos de atenção no cenário atual do sistema por se localizarem mais distantes do reservatório de alimentação. No gráfico pode-se verificar o pleno atendimento às pressões mínimas e máximas de 10 e 40 mca no decorrer de todo o dia.

Figura 45: Destaque de nós que mais distam do reservatório RBB na Zona Baixa 01



Fonte: Autor (2022)

Figura 46: Gráfico de série temporal de comportamento de pressões durante o dia nos nós destacados da Zona Alta 01 após a aplicação de redes de reforço



Fonte: Autor (2022)

As redes de reforço propostas somam juntas uma extensão de aproximadamente 3,2 km e, conforme orientação de profissionais da área tem custo de material estimado em torno de R\$ 608.000,00 (seiscentos e oito mil reais) e valor de assentamento em torno de R\$ 35.200,00 (trinta e cinco mil e duzentos reais).

4.5.2 Sistema Aviação

No caso do Sistema Aviação, também seria necessária a implantação de redes de reforço, já que o sistema também sofre com pressões baixas, porém, conforme relato do profissional da CASAL, esse tipo de obra seria inviável para as redes de

linha-tronco desse sistema, já que elas possuem extensão muito grande e estão sob vias de intensa movimentação de veículos, as avenidas Durval de Góes Monteiro e Fernandes Lima, além de serem adjacentes ao Viaduto da Federal, obra recentemente concluída pelo Governo do Estado. Torna-se assim inviável a realização de abertura de valas nos locais para a realização das ações de estruturação da rede. Contudo, ainda conforme relato do servidor da companhia, existe um projeto de expansão deste sistema, que planeja injetar mais volume de água no mesmo, através da conexão com outros sistemas em pontos estratégicos, fazendo assim com que se tenha perspectivas de melhoras no cenário de pressões e, conseqüentemente, recebimento de água nas pontas de rede com mais eficiência. Assim, concluiu-se que a solução mais viável para o Sistema Aviação seria a implantação do projeto de expansão que consta em fase de planejamento no momento.

4.5.3 Sistema Pratagy-R1

Por fim, o Sistema Pratagy-R1 possui um contexto diferente dos demais, onde as pressões encontram-se em níveis aceitáveis nos horários de maior consumo. Porém, nos horários de menor consumo possuem pressões acima do que é preconizado pela norma, esta informação indica que esse sistema pode sofrer com perdas reais de água em decorrência de vazamentos. Neste caso, a estratégia de implantação de redes de reforço não trará retornos, assim, em discussão com o profissional da área, atuante pela companhia de saneamento do município, foram levantadas duas estratégias para melhoria do quadro apresentado pelo referido sistema. Foram elas:

1. Controle Ativo de Vazamento – existem diversos métodos eficazes para a realização do controle das perdas, aqui, destacou-se o Método de Análise e Problemas de Perdas (MASPP) empregado pela Unidade de Negócios (UN) do Norte de São Paulo gerida pela Sabesp – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. A UN do Norte é a representação da Sabesp por uma superintendência local, responsável pela gestão operacional do saneamento em parcela na cidade de São Paulo. Conforme FILHO e DINIZ (2011), o MASPP é o método em que os sinais dos equipamentos de medição de vazão e pressão são recebidos periodicamente em intervalos de 15 minutos em uma

Central de Controle da Operação de Distribuição (COD) que processa os dados e identifica oportunidades de melhorias no processo de controle operacional em redes de distribuição de água, o que propicia a utilização sistematizada de ferramentas da qualidade tais como, Gráficos de Controle, CEP (Controle Estatístico de Processo), Diagrama de Ishikawa (correlação entre as causas e efeitos das ações), Diagrama de Pareto (ferramenta de controle), Curva ABC, (curva de priorização). Estas ferramentas facilitam a análise de problemas, determinam suas causas e como consequência elaboram-se planos de ação para eliminação das causas. São utilizados os gráficos de controle com os limites definidos na fase de construção, para realizar o controle estatístico do processo. Nas áreas de influência com a supervisão por telemetria pela COD, o problema é detectado antes da abertura de ordem de serviço dos usuários e desencadeia um protocolo de providências. A saber, a verificação dos equipamentos de válvulas redutoras de pressão e o acompanhamento de pressões nas redes de distribuição de água no interior do DMC, além da detecção de vazamentos não visíveis na área de influência do DMC.

A sugestão de implantação deste método deve ser estudada mais a fundo e ponderada pela empresa responsável em operar o sistema, para verificação de viabilidade no contexto em que o SAA de Maceió se encontra.

2. Uso Racional de Água – o papel da população também é relevante no combate às perdas de água, de modo que, a atitude individual de uso racional da água pode contribuir significativamente com a preservação do recurso. Analisando a urbanização das localidades nas quais o Sistema Pratygy-R1 abrange (Ponta Verde, Poço, Ponta da Terra, Jatiúca, Mangabeiras e Cruz das Almas), constata-se que se trata de uma área com predominância de edificações verticais, com intensa urbanização. Assim a metodologia PURA – Programa de Uso Racional da Água – proposta por (Oliveira, 1999) foi sugerida para implantação no sistema de Maceió.

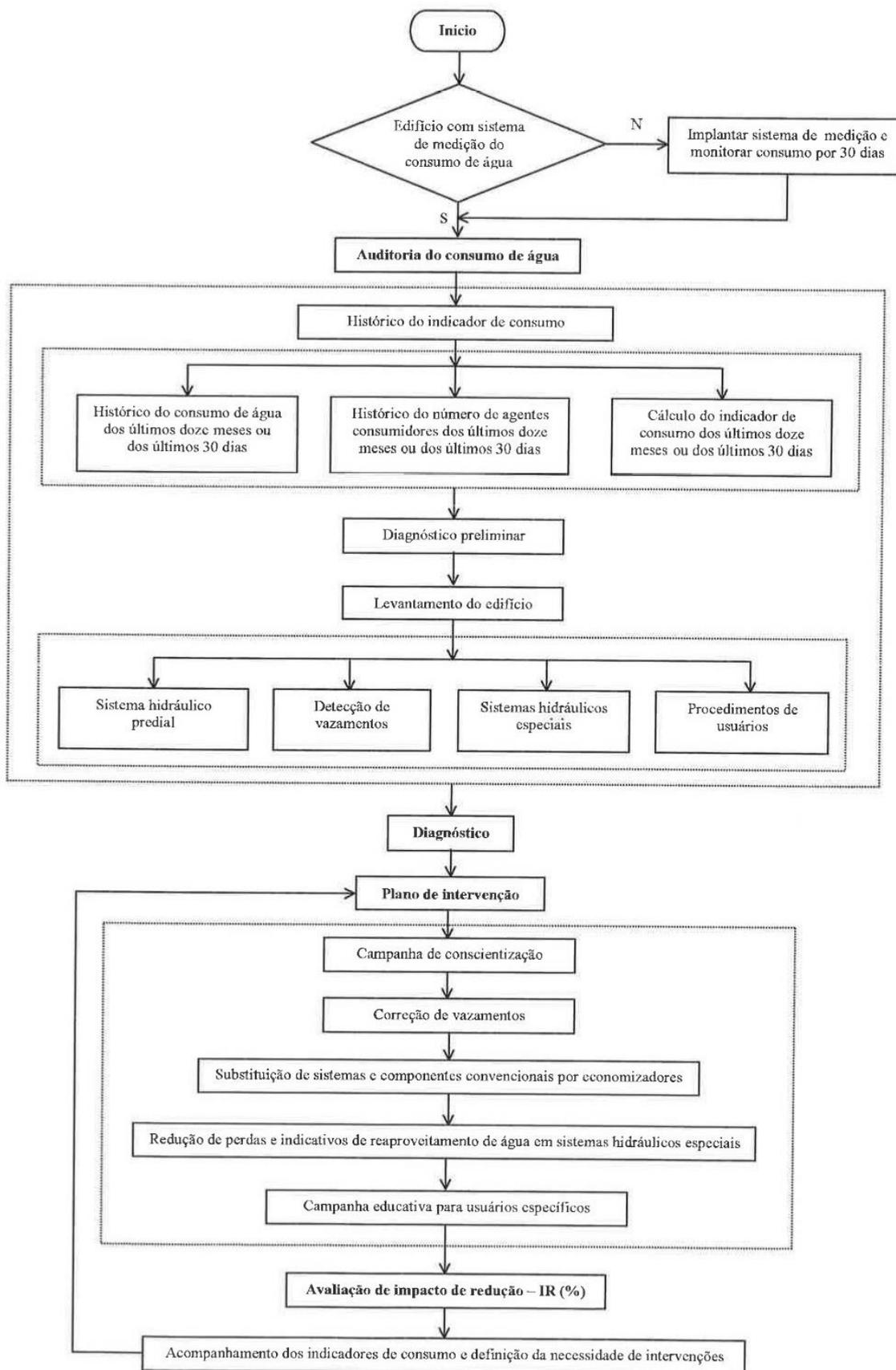
Conforme OLIVEIRA (1999), a metodologia proposta sistematiza as intervenções a serem realizadas em um edifício de tal forma que as possíveis ações para a redução de consumo de água sejam resultantes de um

conhecimento amplo do sistema e, dessa forma, garantindo os níveis mínimos desejáveis de uso e de desperdícios de água.

Considera-se o uso de ações tecnológicas associadas ao apoio à participação do usuário, utilizando diretrizes para conscientizar e preparar os usuários para o exercício de suas atividades fazendo uso somente a quantidade necessária e indispensável de água.

A metodologia é estruturada em quatro etapas, conforme fluxograma apresentado na Figura 47.

Figura 47: Estrutura da metodologia para implantação de PURA em edifícios



Fonte: Oliveira (1999)

A descrição das etapas da metodologia para a implantação de PURA em edifícios é estruturada em quatro etapas, descritas a seguir conforme OLIVEIRA (1999):

- auditoria do consumo de água — é a etapa que permite o conhecimento da utilização da água no sistema através de planejamento adequado para a realização de levantamento documental, das características físicas e funcionais do edifício e, em particular, do sistema hidráulico e das solicitações dos usuários ao sistema;
diagnóstico - é a síntese organizada das informações, obtidas na auditoria do consumo de água, que identifica as condições de operação, os problemas e pontos frágeis do sistema de forma quantitativa e qualitativa, tornando-se assim, ferramenta indispensável para o planejamento de ações compatíveis com as condições de operação do sistema;
- plano de intervenção - é o conjunto de ações, definidas em função do diagnóstico e das condições técnico-econômicas, com o objetivo de reduzir usos e desperdícios de água no sistema predial, sem, contudo, diminuir o nível de conforto e de higiene e principalmente, colocar em risco a saúde do usuário, através do menor volume de água a ser utilizado no sistema;
- avaliação do impacto de redução do consumo - consiste em verificar o efeito de cada uma das ações implementadas no sistema, através da monitoração diária, semanal ou mensal do volume de água medido, cujo valor é confrontado com o volume médio medido no período anterior à implementação do PURA, considerando-se a influência das variáveis e eventos nos dois períodos.

A sugestão de implantação deste método deve ser estudada mais a fundo e ponderada pela empresa responsável em operar o sistema, para verificação de viabilidade no contexto em que o SAA de Maceió se encontra.

5 CONCLUSÕES

Em um Sistema de Abastecimento de Água, sempre haverá correções, ajustes e ampliações a serem feitas, tanto é que as companhias de saneamento e empresas que atuam na área precisam acompanhar em tempo integral os seus sistemas, para que o mesmo funcione conforme esperado. Isto se dá pela constante mudança em que se encontram os municípios e cidades. A expansão popular, através da taxa de natalidade e migração de outras localidades, faz com que a demanda pelo uso da água flutue durante os anos e tenda a crescer cada vez mais de acordo com o que as projeções populacionais indicam. Outro fator no qual o SAA deve se sujeitar se dá pela perspectiva de eventos naturais ou não naturais que afetem o ambiente de maneira geral, no qual o sistema está inserido e precisa se adaptar às suas mudanças.

No caso em estudo, com o afundamento do solo em 5 bairros de Maceió, os dois fatores foram somados: a ocorrência de um desastre ambiental e, por consequência, a migração de população, causando um efeito de expansão populacional repentino. Isto fez com que uma situação de emergência se instaurasse na área do desastre, além de causar impactos colaterais em outras áreas do sistema.

O uso da simulação hidráulica é ferramenta essencial para o acompanhamento de tais mudanças no sistema. Esta fornece informações aos operadores que indicam quais os problemas existentes no abastecimento, além de oferecer a possibilidade de desenvolvimento de soluções para os gargalos identificados, caso seja bem utilizada. Fazendo uso desta ferramenta, pôde-se identificar e quantificar alguns dos impactos colaterais causados no sistema em virtude da realocação da população dos bairros afetados. Foram eles:

- Transferência de um volume de água consumido de 80.353 m³/mês para outras localidades do município, gerando aumento na demanda destes implicando em redução de pressões e aumentos de perdas de carga nas redes de abastecimento;
- Redução de 19,6% nas pressões averiguadas nas redes de linhas-tronco da Zona Alta 01 de abastecimento que atende o bairro do Benedito Bentes e 9,6% de acréscimo de perda de carga, gerando um cenário que favorece o desabastecimento desse local;

- Redução de 16,6% nas pressões averiguadas nas redes de linhas-tronco do Sistema Aviação que atende os bairros da Cidade Universitária, Santos Dummont, Clima Bom e conjunto Medeiros Neto; além de 6,8% de acréscimo de perda de carga, gerando um cenário que favorece o desabastecimento desses locais;
- Redução de 9,6% nas pressões averiguadas nas redes de linhas-tronco do Sistema Pratygy-R1 que atende os bairros de Ponta Verde, Poço, Ponta da Terra, Jatiúca, Mangabeiras e Cruz das Almas; além de 9,2% de acréscimo de perda de carga, que neste caso, contribuiu para equilibrar as pressões excessivas do local, porém, ao mesmo tempo contribuiu para a incidência de mais perdas de água, tendo em vista os hábitos de consumo da população recepcionada.

Assim, fica claro que o incremento de demanda oriundo dos bairros Pinheiro, Mutange, Bebedouro, Bom Parto e Farol causaram algum impacto em termos de pressão e perda de carga nas redes de abastecimento das localidades receptoras, alguns com mais impacto, outros com menos.

Nos casos do sistema da Zona Alta 01 e Sistema Aviação, foi constatado que os mesmos já sofriam desde o cenário antigo, com sobrecarga do sistema, onde se tinha dificuldade de abastecimento das pontas de rede por questões de déficit de pressão e alta perda de carga; desta forma, o recebimento de demanda contribuiu negativamente para o agravamento dessa situação no cenário atual.

No caso do Sistema Pratygy-R1, o cenário antigo indica que em determinadas localidades havia excesso de pressão na rede, ao receber a demanda oriunda de realocação houve por consequência uma redução na pressão, o que acarretou uma melhora do cenário onde as pressões que ultrapassavam os limites normatizados, reduziram para dentro do limite permitido. Porém, não necessariamente houve somente alterações positivas nesse caso, com o aumento da população de uma localidade, o número de perda de água também cresce, isto se dá pelo problema de uso racional da água, o qual ainda não é aplicado corretamente nas cidades brasileiras, com isso traz prejuízos ao fornecimento de água, de uma maneira mais geral.

As proposições de estratégia para minimização dos impactos foram distintas em cada uma das três áreas estudadas. Sendo para a Zona Alta 01, proposição de redes de reforço que tiveram como finalidade equilibrar as pressões (através do aumento da seção disponível adução) do sistema que se encontravam muito baixas; a estratégia foi avaliada por meio de simulação hidráulica para definição de melhor diâmetro e posição das redes de reforço. Para o Sistema Aviação, foi proposto adesão ao projeto de expansão do sistema, já em desenvolvimento no atual momento, conectando o mesmo às fontes de vazão de outro sistema para que se melhore o cenário de pressões baixas no mesmo; esta estratégia foi escolhida pela inviabilidade de obras muito grandes de implantação de reforços, tendo em vista a configuração e localização do sistema. Por fim, para o Sistema Pratygy-R1 foram propostas estratégias de Controle Ativo de Vazamentos através do Método de Análise e Problemas de Perdas (MASPP) e Uso Racional de Água através da metodologia PURA – Programa de Uso Racional da Água.

Em pesquisas futuras pode-se usar as estimativas de deslocamento populacional realizadas para a análise de outras localidades receptoras de realocação que não foram analisadas neste trabalho. Além disso, pode-se realizar um estudo estatístico que confronte a incidência de desabastecimentos e vazamentos constatados nas áreas de realocação com os resultados de perda de pressão e aumento de perda de carga aqui constatados.

REFERÊNCIAS

ANTROP, M. **Landscape change and the urbanization process in Europe.** Landscape. Urban Plann. 67 (1–4), 9–26. 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12218: **Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.** Rio de Janeiro, 2017.

Atlas do desenvolvimento humano no Brasil (2013). **Perfil - Unidades de Desenvolvimento Humano.** Disponível em: <http://atlasbrasil.org.br/2013/>.

AZEVEDO NETTO, José Martiniano. FERNANDEZ, Miguel Fernandez.; ARAUJO, Roberto; EIJIITO, Acácio. **Manual de Hidráulica.** 8ª ed. Blucher. São Paulo, Brasil, 1998.

BERGAMASCHI, R. B. **SIG aplicado a segurança no trânsito – estudo de caso no município de Vitória – ES.** 74 f. (Monografia de Graduação). Universidade Federal do Espírito Santo: Vitória, 2010.

BEZERRA, Saulo de Tarso Marques. **Perdas de água: tecnologias de controle.** João Pessoa: Editora da UFPB, 2013

Brasil (2019a). Serviço Geológico do Brasil (CPRM). **Estudos sobre a instabilidade do terreno nos bairros Pinheiro, Mutange e Bebedouro, Maceió (AL):** Relatório síntese dos resultados nº 1. Brasília, DF: Ministério de Minas e Energia.

BRASIL. Funasa. Fundação Nacional da Saúde (org.). Universidade Federal Fluminense (UFF). Instituto Brasileiro de Administração Municipal (IBAM). **Plano Municipal de Saneamento Básico: Cadernos Temáticos Saneamento Básico – Abastecimento de Água Potável.** Brasil, 2016. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Abastecimento+de+%C3%81gua+Pot%C3%A1vel.pdf/c42e2752-7de2-4a0b-a751-fa352f1bdbc3?version=1.0>. Acesso em: 14 fev. 2022.

BRASKEM. **Atualização Maceió.** Maceió, 2021. 31 slides, color. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/mapa-da-area-de-desocupacao>. Acesso em: 13 fev. 2022.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R.A. **Principles of geographical information systems.** Oxford, Oxford University Press, 1998.

CASAL – Companhia de Saneamento de Alagoas. 2022.

FILHO, J. G. D.; DINIZ A. R. S. **Controle de Perdas - Desenvolvimento Contínuo Para Detecção de Vazamentos de Água na RMSP.** XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Maceió, 2011. Disponível em: https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=81&SUMARIO=1310&ST=controle_de_perdas_desenvolvimento_continuo_para_deteccao_de_vazamentos_de_agua_na_rmosp. Acesso em: 27 jun. 2022.

GOMES, Heber Pimentel. **Sistemas de Saneamento: Eficiência Energética**. João Pessoa, Paraíba: Editora Universitária. Universidade Federal da Paraíba, 2010.

HAASE, D. **Effects of urbanisation on the water balance – a long-term trajectory**. *Environ. Impact Assess. Rev.* 29 (4), 211–219. 2009.

HAMER, N.; LIPILE, L.; LIPILE, M.; MOLONY, L.; NZWANA, X.; O'KEEFFE, J.; SHACKLETON, S.; WEAVER, M.; PALMER, C. **Coping with water supply interruptions: can citizen voice in transdisciplinary research make a difference?** *Water International*, v. 43, n. 5, p. 603-619, 2018. <https://doi.org/10.1080/02508060.2018.1497863>

HELLER, L.; PÁDUA V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 1 v.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010 - Sinopse por setores**. 2010. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/?nivel=st>.

JOHNS, M.B.; KEEDWELL, E.; SAVIC, D. **Knowledge-based multi-objective genetic algorithms for the design of water distribution networks**. *Journal of Hydroinformatics*, v. 22, n. 2, p. 402-422, 2020. <https://doi.org/10.2166/hydro.2019.106>

LAMBERT, A; THORNTON, J. **Avaliação de Perdas Reais**. Consultoria à SABESP, São Paulo, 2002.

Maceió (2007). Lei nº 5593, de 08 de fevereiro de 2007. Institui o Código de Urbanismo e Edificações do município de Maceió. **Legislação**.

Maceió (2005). Lei Municipal Nº 5486 de 30 de dezembro de 2005. Institui o Plano Diretor de Maceió. **Legislação**.

OLIVEIRA, L. H. **Metodologia para Implantação de Programa de Uso Racional da Água em Edifícios**. (Tese de doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo: São Paulo, 1999. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-16042018-084622/en.php>. Acesso em: 27 jun. 2022.

RIZZATTI, M.; LAMPERT BATISTA, N.; CEZAR SPODE, P. L.; BOUVIER ERTHAL, D.; MAURO DE FARIA, R.; VOLPATO SCCOTI, A. A.; PETSCH, C.; TURBA COSTA, I.; TRENTIN, R. Metodologia de geolocalização para mapeamento intraurbano de COVID-19 em Santa Maria, RS. **Metodologias e Aprendizado**, [S. l.], v. 3, p. 8–13, 2020. DOI: 10.21166/metapre.v3i0.1260. Disponível em: <https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/metapre/article/view/1260>. Acesso em: 13 fev. 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS (2022). Série histórica. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/aplicacao-web-serie-historica>

SOARES, Alexandre Kepler. **Calibração de modelos de redes de distribuição de água para abastecimento considerando vazamentos e demandas dirigidas pela pressão**. 2003. 178 f. Dissertação (Mestrado), Curso de Engenharia em Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <http://repositorio.eesc.usp.br/>. Acesso em: 13 fev. 2022.

TSUTYIA, M.T. **Abastecimento de Água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Sistemas de abastecimento de água isolados operados pela CA

NOME	BAIRRO	ECONOMIAS ABASTECIDAS	POPULAÇÃO*
Vila Emater	Jacarecica	200	678
Denilma Bulhões	Benedito Bentes	500	1695
Osman Loureiro	Clima Bom	1015	3441
Rio Novo	Rio Novo	750	2543
Durvilho	Clima Bom	900	2712
Santa Helena	Cidade Universitária	360	1220
Campos do Jordão	Antares	100	339
Lucila Toledo	Cidade Universitária	300	1017
Morada Nova	Tabuleiro do Martins	100	339
Reginaldo	Feitosa	1053	3570
Hélio Vasconcelos	Santos Dumont	50	170
Riacho Doce	Riacho Doce e Garça Torta	1940	6577
Barro Duro	Barro Duro	4738	16062
Monte Alegre	Santo Amaro	750	2543
Ipioca	Ipioca	1450	4916
Pescaria	Pescaria	1212	4109
Rui Palmeira	Serraria	1150	3899
Carajás 1	Serraria	500	1695
Cidade Universitária	Cidade Universitária	150	509
Henrique Equelman	Antares e Tabuleiro do Martins	300	1017
Antares	Antares	861	2919
São Jorge	São Jorge	4300	14577
Salvador Iria	Tabuleiro do Martins	1508	5112
Deboux Leão	Cidade Universitária	935	3170
Alfredo Gaspar Mendonça	Jacarecica	2500	8475
Tabuleiro Novo	Tabuleiro do Martins e Santa Lúcia	7850	26612
Samambaia	Serraria	386	1309
José Tenório	Serraria	1500	5085
Gama Lins	Cidade Universitária	650	2204

NOME	BAIRRO	ECONOMIAS ABASTECIDAS	POPULAÇÃO*
Freitas Neto	Benedito Bentes	700	2373
Carminha	Benedito Bentes	700	2373
Ouro Preto	Ouro Preto	1.012	3431
Santa Lucia	Santa Lucia	100	339
Selma Bandeira	Benedito Bentes	200	678
Rosane Collor	Clima Bom	2.426	8224
Inocoop	Cidade Universitária	1.328	4502
Cidade Sorriso	Benedito Bentes	1.480	5017
Jardim Royal	Cidade Universitária	1.000	3390
Paulo Bandeira	Benedito Bentes	345	1170
Benicio Mendes	Benedito Bentes	300	1017
Moacir Andrade	Benedito Bentes	650	2204
Santa Maria	Cidade Universitária	100	339

*Estimada a partir do número médio de habitantes por domicílio, segundo IBGE 2010. Fonte:
Sisagua.