

ANÁLISE DA PERDA DE ÁGUA NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ALTAMIRA-PA

ANALYSIS OF WATER LOSSES IN THE PUBLIC WATER SUPPLY SYSTEM OF ALTAMIRA-PA

Rosângela Gomes da Silva¹, Weslen de Oliveira Alves², Vitória Geovana da Silva Batista³,
Bruno Martins Calazans Silva⁴, Juliane da Costa Cavalcante⁵ e Jorge Fernando Hungria
Ferreira⁶

RESUMO

A perda de água em Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) ainda é um problema enfrentado por municípios brasileiros, gerando deficiências operacionais e uso irracional dos recursos. Portanto, o objetivo desta pesquisa foi analisar a perda de água no SAA de Altamira-PA e seus impactos financeiros, com ênfase nos custos agregados de energia elétrica e produtos químicos. A metodologia adotada foi estruturada em três etapas: caracterização do SAA, levantamento e tratamento de dados, e análise comparativa de cenários perda de água. Nos resultados, foi identificado consumo per capita de Altamira (340,24 l/hab.d) muito superior à média da região Norte do Brasil (177,11 l/hab.d), o que pode ser consequência de erro de estimativa, visto que no município não há micromedição de consumo de água. Esses valores de consumo per capita foram usados para compor os Cenários 1 e 2, respectivamente. Em 2023, o sistema apresentou índice de perda de água de 36,30% (Cenário 1), podendo ter atingido valor superior (66,84%) caso o consumo per capita real seja próximo à média regional (Cenário 2). Considerando como índice de perda aceitável o valor de 20% da demanda de água, foi estimado, como consequência do custo agregado ao volume de água perdido, que a perda financeira excedente com energia elétrica e produtos químicos totalizou R\$ 2.441.697,00 no Cenário 1 e de R\$ 7.016.650,00 no Cenário 2. Conclui-se que a redução das perdas de água é ação estratégica para diminuir custos operacionais, contribuindo para a sustentabilidade econômica e ambiental do SAA de Altamira.

Palavras-chave: Energia Elétrica. Produtos Químicos. Bombeamento. Tratamento de Água. Custos Operacionais.

ABSTRACT

Water loss in Water Supply Systems (WSS) remains a problem faced by Brazilian municipalities, leading to operational deficiencies and irrational use of resources. Therefore, the objective of this research was to analyze water loss in the WSS of Altamira-PA and its financial impacts, with emphasis on the aggregated costs of electricity and chemical products. The adopted methodology was structured in three stages: WSS characterization, data collection and processing, and comparative analysis of water-loss scenarios. The results indicated a per capita water consumption in Altamira (340.24 L/inhab.day) much higher than the average for the Northern region of Brazil (177.11 L/inhab.day), which may be a consequence of estimation error, since there is no micrometering of water consumption in the municipality. These per capita consumption values were used to compose Scenarios 1 and 2, respectively. In 2023, the system presented a water loss index of 36.30% (Scenario 1), which could have reached a higher value (66.84%) if the actual per capita consumption is close to the regional average (Scenario 2). Considering a loss index of 20% of water demand as acceptable, it was estimated that, as a consequence of the cost added to the volume of water lost, the excess financial loss from electricity and chemicals totaled R\$ 2,441,697.00 in Scenario 1 and R\$ 7,016,650.00 in Scenario 2. It is concluded that reducing water losses is a strategic action to decrease operational costs, contributing to the economic and environmental sustainability of the Altamira WSS.

Keywords: Chemical Products. Pumping. Water Treatment. Operational Costs.

Data de recebimento: 23/02/2026.
Aceito para publicação: 11/04/2026.

1 INTRODUÇÃO

¹ Discente de Engenharia Ambiental e Sanitária – UEPA, Altamira, Pará, rosangela.gds89@gmail.com

² Discente de Engenharia Ambiental e Sanitária – UEPA, Altamira, Pará, weslen.alves@aluno.uepa.br

³ Discente de Engenharia Ambiental e Sanitária – UEPA, Altamira, Pará, vitoria.batista@aluno.uepa.br

⁴ Doutor em Engenharia Elétrica – UNB, Docente UEPA, Altamira, Pará, b.calazanssilva@uepa.br

⁵ Doutorado em Ciências Ambientais – UFPA, Belém, Pará, julianecosta63@gmail.com

⁶ Doutor em Engenharia Civil – UFPA, Docente UEPA, Altamira, Pará, jorge.fh.ferreira@uepa.br

Com o constante crescimento populacional, observa-se um aumento significativo na demanda por água, o que exige uma maior capacidade de produção, tratamento e distribuição desse recurso para garantir o abastecimento das comunidades. Assim, é fundamental que os Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) assegurem que todo o processo de produção e fornecimento de água seja seguro e confiável, com a qualidade adequada, quantidade necessária, pressões dentro dos limites das normas e buscando minimizar as perdas ao longo de seu deslocamento (Baen *et al.*, 2018; Żywiec *et al.*, 2026).

A Lei nº 14.026 de 2020, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, define, em seu art. 3º, inciso I, alínea “a”, o abastecimento de água potável como as atividades de “[...] disponibilização e manutenção de infraestruturas e instalações operacionais necessárias ao abastecimento público de água potável, desde a captação até as ligações prediais e seus instrumentos de medição” (Brasil, 2020). Essa legislação estabelece a universalização do acesso à água como um dos seus principais objetivos, além de prever a adoção de medidas voltadas ao uso racional dos recursos hídricos, ao controle e à redução de perdas no sistema de distribuição, bem como à promoção da eficiência energética. Tais diretrizes visam assegurar o acesso equitativo e sustentável à água potável.

Entretanto, de acordo com Lopes *et al.* (2020) e Sousa e Soares (2021), falhas gerenciais e operacionais, como é o caso dos elevados índices de perda de água, aumentam expressivamente os custos dos SAA. De acordo com Ravelojaona *et al.* (2026), a escassez de recursos tem influenciado nos processos de produção, como é o caso da água que tem a sua disponibilidade impactada pelas alterações climáticas. Dessa forma, o uso racional dos recursos hídricos, diretamente relacionado à redução dos índices de perdas nos SAA, ganha cada vez mais importância para os prestadores desses serviços.

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico (SINISA), em 2023, o Brasil apresentou um índice médio de 40,31% de perdas na distribuição de água tratada, número que demonstra a existência de falhas significativas nos sistemas de abastecimento. A região Norte lidera com o maior percentual de perdas do país, alcançando 49,78%, enquanto o estado do Pará apresenta um cenário ainda mais preocupante, com 58,71% de perdas. Além disso, no que diz respeito ao índice de atendimento urbano com abastecimento de água, o Brasil registra 93,34% de cobertura, ao passo que a região Norte apresenta apenas 75,36% e o estado do Pará apenas 66,74%, revelando uma desigualdade regional significativa e a necessidade de investimentos urgentes na ampliação e qualificação dos serviços de saneamento (Brasil, 2024).

A perda de água nos sistemas de abastecimento vai muito além do uso não racional de recurso hídrico, ela representa um desperdício significativo de energia elétrica e produtos químicos utilizados no tratamento da água. Toda água que é captada, tratada e distribuída consome insumos, como cloro, coagulantes e energia em sistemas de bombeamento, e quando essa água é perdida antes de chegar ao consumidor, há prejuízo operacional e financeiro para os prestadores de serviço (Trata Brasil, 2021).

Nessa perspectiva, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), destaca que as perdas de água são, em geral, resultado da ineficiência dos serviços prestados. Assim, a expectativa é que haja uma melhora gradual no patamar de perdas à medida que o setor se ajuste às melhores práticas técnicas e operacionais estabelecidas nas normas a serem implementadas (ANA, 2022).

Segundo a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES, 2015), o diagnóstico operacional do SAA é essencial para compreender o comportamento hidráulico do sistema, identificar as causas das perdas e orientar as melhores soluções técnicas e econômicas, promovendo eficiência na gestão dos SAA.

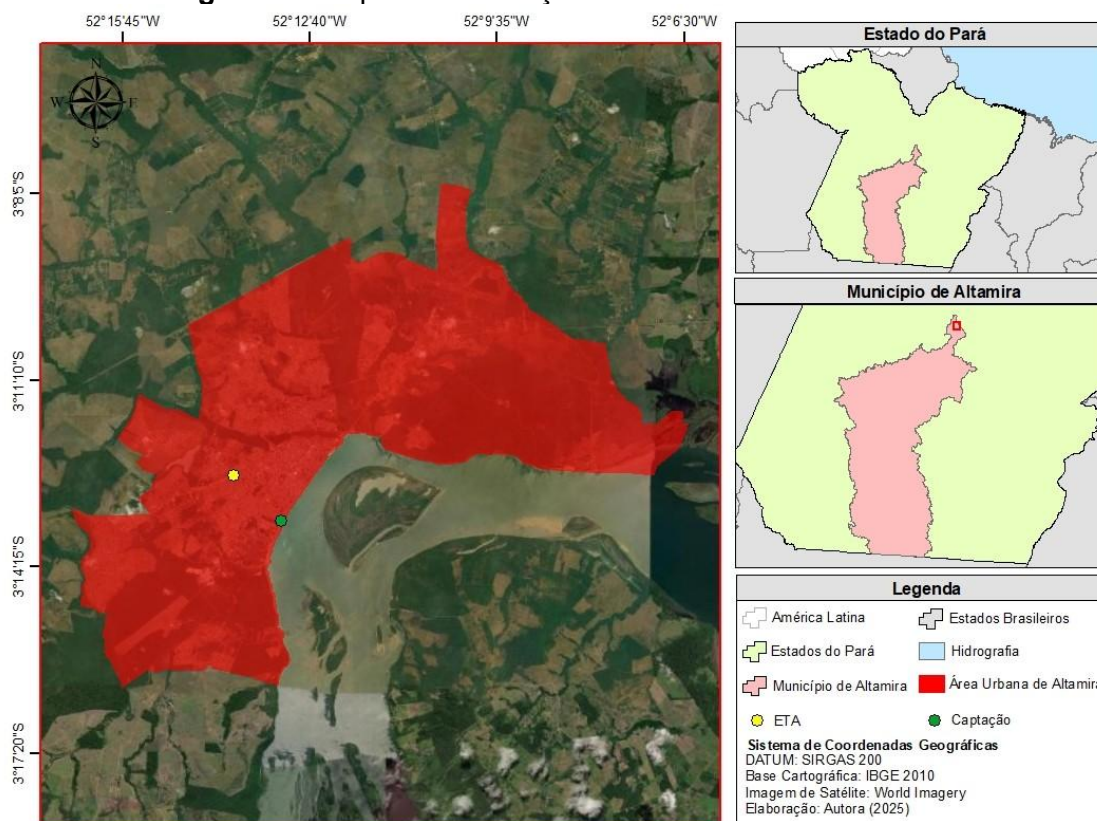
Assim, esta pesquisa busca avaliar a perda de água no SAA do município de Altamira-PA e os seus impactos no custo com produtos químicos e energia elétrica, além

de analisar o potencial de abastecimento com a redução dos índices de perda.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Á área de estudo desta pesquisa é o SAA que abastece a área urbana de Altamira, cuja localização é apresentada na Figura 1. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município de Altamira, localizado no estado do Pará, possui uma população total de 126.279 habitantes. A área territorial corresponde a 159.533,306 km², sendo um dos maiores municípios do Brasil em extensão. O Produto Interno Bruto (PIB) per capita é de R\$ 26.595,80 e o Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDH-M) é de 0,665, classificado como médio (IBGE, 2025).

Figura 1 – Mapa de localização da área urbana de Altamira.



Fonte: autoria própria.

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas, no caso:

- Etapa 1: caracterização das unidades do SAA de Altamira;
- Etapa 2: levantamento e tratamento dos dados operacionais e comerciais do SAA de Altamira;
- Etapa 3: análise do impacto econômico e de cobertura resultante das perdas de água no SAA de Altamira.

Na primeira etapa foram consultados documentos oficiais, como o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) de Altamira (Altamira, 2022) e o documento Insumo para o Plano Municipal de Saneamento Básico, do Consórcio EY *et al.* (2024), com o objetivo de analisar a configuração do SAA de Altamira. Foram identificadas as partes constituintes do SAA que consomem Energia Elétrica (EE) e Produtos Químicos (PQ), insumos importantes

nas despesas de SAAs.

Em seguida, na segunda etapa, foram levantadas informações do SAA de Altamira na base de dados do SINISA, cujo relatório mais recente é referente ao ano de 2023 (Brasil, 2024). Os dados levantados foram os seguintes: a) população total urbana residente (hab); b) população urbana atendida (hab); c) volume produzido (m^3/ano); d) volume consumido (m^3/ano); e) volume macromedido (m^3/ano); f) volume micromedido (m^3/ano); g) consumo per capita de água (l/hab.d); h) despesa total (R\$/ano); i) despesa com EE (R\$/ano) e; j) despesa com PQ (R\$/ano).

A partir desses dados, foram calculados o índice de atendimento e o índice de perda de água do SAA de Altamira, utilizando as Equações 1 e 2.

$$I_{\text{atend}} = \frac{P_{\text{atend}}}{P_{\text{total}}} \quad (1)$$

$$I_{\text{perda}} = \frac{V_{\text{prod}} - V_{\text{cons}}}{V_{\text{prod}}} \quad (2)$$

Onde:

I_{atend} : índice de atendimento com abastecimento de água (%);

P_{atend} : população atendida com abastecimento de água (hab);

P_{total} : população total (hab);

I_{perda} : índice de perda de água (%);

V_{cons} : volume anualmente consumido de água no SAA (m^3/ano);

V_{prod} : volume anualmente produzido de água no SAA (m^3/ano).

Em seguida, para análise comparativa, foram levantados, em literaturas e trabalhos técnicos e acadêmicos, valores de índice de perda de água considerado como aceitável em SAAs. A partir dos dados levantados, foi definido um valor percentual médio de perda aceitável de água em SAAs, o qual foi utilizado para calcular a demanda real de água de Altamira (consumo + perda aceitável) – que desconsidera a perda de água excedente⁷ –, utilizando a Equação 3.

$$V_d = V_{\text{cons}} \times \left(\frac{1}{1 - I_{\text{pa}}} \right) \quad (3)$$

Onde:

V_d : volume anualmente demandado de água no SAA (m^3/ano);

I_{pa} : índice de perda aceitável de água (%);

V_{cons} : volume anualmente consumido de água no SAA (m^3/ano).

Em seguida, foram levantados dados de consumo per capita de água de municípios brasileiros pertencentes ao mesmo grupo populacional de Altamira, classificado, segundo Nascimento (2021), como município de grande porte, com população entre 100.001 e 900.000 habitantes. Esses dados de consumo per capita foram agrupados por região (Centro-Oeste, Nordeste, Norte, Sudeste e Sul) e foram tratados no Software Minitab para produção de gráfico *Boxplot*, com a finalidade de identificar os valores médios, a dispersão dos dados e os outliers de cada região, os quais foram comparados com o valor de consumo per capita de Altamira.

A fim de identificar qual seria o consumo total e a perda de água de Altamira caso o consumo per capita de água (l/hab.d) fosse igual à média da região Norte, foram aplicados,

⁷ A perda de água excedente está sendo considerada nesta pesquisa como o volume de água perdido que ultrapassa o percentual estabelecido como índice aceitável de perda.

à Equação 4, os valores de consumo per capita médio da região Norte e a população atualmente abastecida na área urbana de Altamira.

$$V_{\text{cons}} = \text{Patend} \times q \times \frac{365 \text{ d/ano}}{1.000 \text{ l/m}^3} \quad (4)$$

Onde:

V_{cons} : volume anualmente consumido de água no SAA (m^3/ano);

Patend: população atendida com abastecimento de água (hab);

q : consumo per capita de água ($\text{l}/\text{hab.d}$).

Assim, com o valor de consumo de água de Altamira informado no SINISA e com o valor calculado a partir do consumo per capita médio de água da região Norte, foram estabelecidos, respectivamente, os Cenários 1 e 2 desta pesquisa, a partir dos quais foram realizadas as análises de índice de perda de água e de desperdício financeiro. Os dois cenários são descritos a seguir:

- Cenário 1: consumo de água de Altamira informado no SINISA;
- Cenário 2: consumo de água calculado pelo produto entre a população atualmente atendida em Altamira (hab) e o consumo per capita médio da região Norte ($\text{l}/\text{hab.d}$).

Objetivando analisar os valores de perda de água dos Cenários 1 e 2, foram levantados os índices de perda de água dos municípios participantes do relatório do SINISA 2023, os quais tiveram os valores médios e de desvio padrão apresentados graficamente por região do Brasil junto com os índices de perda dos dois cenários estudados.

Em seguida, foi calculada a demanda de água do Cenário 2 aplicando o valor de índice de perda de água aceitável estabelecido e o consumo de água desse cenário à Equação 3. Assim, foram apresentados, em tabela, os valores de Demanda (m^3/ano), Consumo (m^3/ano) e Perda Aceitável (m^3/ano) dos Cenários 1 e 2 desta pesquisa.

Relacionando esses dados com o volume produzido pelo SAA de Altamira, informado no SINISA, foi calculada a Perda Excedente de Água (m^3/ano), que consiste na diferença entre o volume produzido e o volume demandado (consumo + perda aceitável). Nesta pesquisa, a Perda Excedente de Água foi considerada como o volume passível de recuperação, caso sejam gradualmente implementadas práticas de combate às perdas de água no SAA de Altamira.

Na última etapa, considerando o volume produzido de água (m^3/ano) e a despesa com EE do SAA de Altamira, foi calculado o valor de Custo Específico de Energia Elétrica (CEE) utilizando as Equação 5. Além disso, também foi calculado o Custo Específico com PQ (CEQ) aplicando a despesa com produtos químicos do SAA de Altamira na Equação 6.

$$CEE = \frac{CUE}{V_{\text{prod}}} \quad (5)$$

$$CEQ = \frac{CUQ}{V_{\text{prod}}} \quad (6)$$

Onde:

CEE: custo específico de energia elétrica ($\text{R}\$/\text{m}^3$);

CUE: custo total de energia elétrica ($\text{R}\$/\text{ano}$);

V_{prod} : volume anualmente produzido de água no SAA (m^3/ano);

CEQ: custo específico com produtos químicos ($\text{R}\$/\text{m}^3$);

CUQ: custo total com produtos químicos ($\text{R}\$/\text{ano}$).

Por fim, na terceira etapa foi estimado o impacto financeiro com EE e com PQ resultantes da perda de água no SAA. Para isso, foi realizado o produto entre o volume de água perdido (total e excedente, separadamente, dos Cenários 1 e 2) no SAA de Altamira pelos CEE e CEP, utilizando as Equações 7 e 8.

$$CTed = CEE \times Vperda \quad (7)$$

$$CTqd = CEQ \times Vperda \quad (8)$$

Onde:

CTed: custo total de energia elétrica desperdiçado (R\$/ano);

CTqd: custo total de produtos químicos desperdiçado (R\$/ano);

Vperda: volume anualmente perdido de água no SAA (m³/ano).

A soma de CTed e CTqd é o custo total resultante das perdas de água no SAA. Em seguida, foi analisado o impacto dos desperdícios financeiros resultantes da perda de água na despesa total do SAA de Altamira. Por fim, utilizando a Equação 9 e os volumes de perda excedente de água nos dois cenários estudados, foi quantificada a capacidade de abastecimento que esses volumes teriam caso o índice de perda de água do SAA de Altamira fosse reduzido para o patamar aceitável definido na segunda etapa.

$$CA = \frac{Vperda \times 1.000 \text{ l/m}}{q \times 365 \text{ d/ano}} \quad (9)$$

Onde:

CA: Capacidade de Abastecimento (hab);

q: consumo per capita de água (l/hab.d);

Vperda: volume excedente anualmente perdido de água no SAA (m³/ano).

Com esses dados, foi possível quantificar o impacto que as perdas de água dos dois cenários avaliados têm na despesa e na cobertura de abastecimento do SAA de Altamira.

3 RESULTADOS

O SAA de Altamira-PA segue as etapas básicas de um sistema convencional, constituído por captação, adução, tratamento, reservação e distribuição. As principais unidades que demandam EE em SAAs são aquelas que contam com bombeamento, uma vez que, conforme Gomes e Carvalho (2012), Ferreira, Lopes e Pereira (2020) e Rodrigues (2024), os Conjuntos Motor e Bomba (CMB) consomem cerca de 90% da energia utilizada nos SAAs.

No SAA de Altamira, o bombeamento de água é realizado na captação de água bruta, na Estação de Tratamento de Água (ETA), no transporte de água tratada para os reservatórios e na pressurização de algumas áreas da rede de distribuição. A captação de água que abastece a área urbana de Altamira é realizada, principalmente, no rio Xingu por dois sistemas de captação, sendo um do tipo poço fixo (antiga captação) e o outro do tipo flutuante (nova captação). Além disso, o abastecimento urbano é complementado por poços subterrâneos, que abastecem microssistemas isolados (Altamira, 2022; Consórcio EY *et al.*, 2024).

A ETA é constituída pela ETA Antiga e pela Nova ETA, ambas contam com as etapas de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção, ocorrendo a aplicação de PQ em diferentes etapas. Nas ETAs, de acordo com Lima (2022), o consumo de EE pode ocorrer, em maior ou menor escala, em etapas do tratamento, estando presente desde na

automação de equipamentos até em estações de bombeamento para o deslocamento da água e de PQ, bem como na limpeza das unidades.

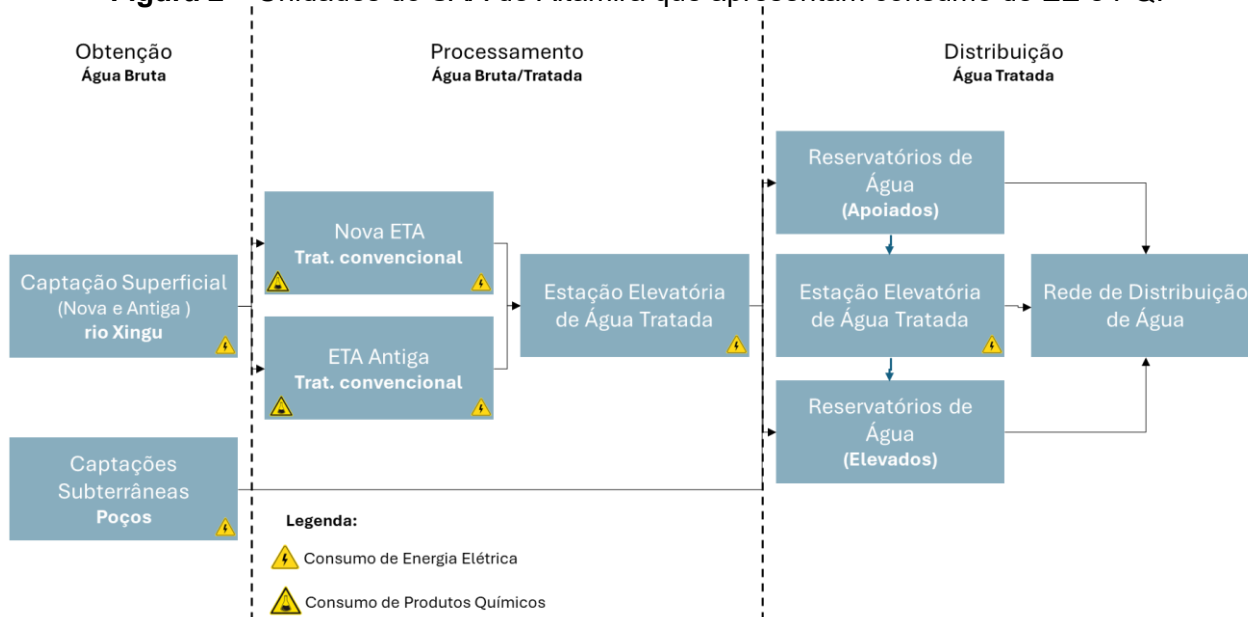
Lopes *et al.* (2020) e Hamawand (2023) apontam que as ETAs necessitam de consumo de energia para operar, podendo esse consumo ocorrer em sistemas de bombeamento, compressores de ar, raspadores de lodo, equipamentos de desaguamento, sistemas de retrolavagem de filtros, laboratórios de análise, misturadores, peças móveis e outros eventuais equipamentos utilizados no processo.

Em cada uma dessas etapas, dependendo do mecanismo de operação, pode haver demanda energética, variando conforme a complexidade e as exigências operacionais do sistema. De acordo com Ferreira (2019), além do consumo de energia elétrica, as despesas de exploração dos sistemas também possuem como componente relevante os custos com PQ. Dessa forma, uma vez que os custos com energia elétrica e PQ são agregados ao volume de água produzido no SAA, a perda de água resulta, conseqüentemente, em perdas financeiras em razão de seu custo de produção.

Ainda no SAA de Altamira, as Estações Elevatórias de Água Tratada transportam a água produzida nas ETAs para reservatórios espalhados pela cidade. Por fim, também ocorre consumo de EE na distribuição, uma vez que, conforme Altamira (2022), “o abastecimento das zonas altas é [realizado] através de ‘boosters’ situados junto aos reservatórios”.

Na Figura 2 é apresentado um esquema com as principais unidades do SAA de Altamira, nas quais ocorrem consumo de EE e, especificamente nas ETAs, de PQ.

Figura 2 – Unidades do SAA de Altamira que apresentam consumo de EE e PQ.



Fonte: autoria própria, adaptado de Pereira e Condurú (2014), Altamira (2022) e Consórcio EY *et al.* (2024).

A partir dos dados de Brasil (2024), foi identificado que o SAA de Altamira abastece exclusivamente a população da área urbana, mais especificamente, 65.558 habitantes, equivalente 60,55% da população total urbana do Município (108.276 hab). Assim, esses dados demonstram que Altamira ainda possui déficit de abastecimento urbanos de 39,45% (42.718 hab). Além disso, em 2023 foi produzido 12.780.830 m³/ano e a população consumiu 8.141.390 m³/ano, resultando no desperdício de 4.639.440 m³, que corresponde a um índice de perda de água 36,30%.

A metodologia de Balanço Hídrico proposta pela *International Water Association* (IWA) destaca que nenhum sistema de abastecimento opera de forma totalmente estanque, pois sempre existirão volumes de água que não chegam ao consumo autorizado, seja por

perdas reais (vazamentos e extravasamentos), seja por perdas aparentes decorrentes de falhas de medição ou irregularidades operacionais e de cadastro. Dessa forma, as concessionárias de abastecimento devem ter como meta o acompanhamento e a redução contínua desses volumes perdidos por meio de indicadores específicos (Lambert *et al.*, 2000).

De acordo com a Portaria nº 490, de 22 de março de 2021, do Ministério do Desenvolvimento Regional, o índice de perda aceitável para os SAAs é de 25% de perdas na distribuição. Esse valor é considerado referência de bom desempenho operacional, sendo recomendado como parâmetro aceitável para os SAA no contexto brasileiro, especialmente para fins de planejamento e avaliação da eficiência do SAA (Brasil, 2021).

Bezerra e Cheung (2013) comenta que valores de perda abaixo de 25% indicam sistemas com bom gerenciamento. Por sua vez, Trata Brasil (2018) e Maia (2018) apontam três cenários de índices de perdas para 2033, no caso, de 15% (otimista), 20% (base) e 25% (conservador).

Considerando como índice de perda aceitável o Cenário Base de 20% em relação ao volume de água a ser produzido, foi possível calcular, utilizando a Equação 3, o volume demandado de água para abastecer a população atualmente atendida em Altamira. No caso, a partir do consumo informado de 8.141.390 m³/ano (80% da demanda), calculou-se a demanda de água em 10.176.738 m³/ano (100%), sendo os demais 20% (2.035.348 m³/ano) a máxima perda aceitável considerada. Nesta pesquisa, esses valores compõem o Cenário 1.

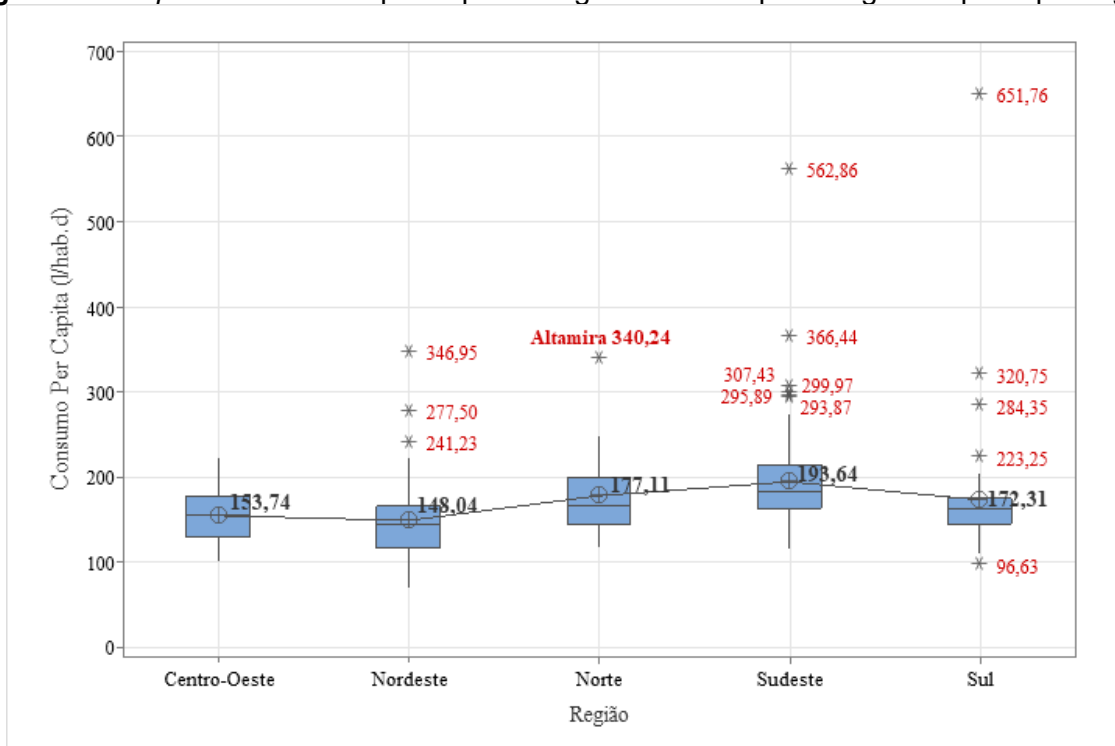
Entretanto, de acordo com o relatório do SINISA de 2023, o SAA de Altamira, apesar de realizar macromedição de 100% do volume produzido, não realiza micromedição, o que torna imprecisa a quantificação do volume consumido. Dessa forma, o valor realmente consumido pode ser superior ou inferior ao volume informado de 8.141.390 m³/ano.

No relatório do SINISA, foi identificado o consumo per capita de Altamira no valor 340,24 l/hab.d. Com a finalidade de analisar se o consumo de água em Altamira está próximo dos parâmetros médios de outros SAAs, foram levantados dados da literatura técnica e acadêmica. De acordo com Brasil (2024), o consumo per capita médio dos municípios brasileiros, em 2023, foi de 175,68 l/hab.dia, variando de 146,08 l/hab.d na região Nordeste até 196,64 l/hab.d na região Sudeste. O consumo per capita médio no Estado do Pará foi de 123,52 l/hab.dia.

Von Sperling (2014) aponta que cidades com população entre 50 e 250 mil habitantes possuem consumo per capita entre 120 e 220 l/hab.d. Gomes (2021) aponta que cidades com serviço público eficiente possuem consumo per capita de 100 a 200 l/hab.d, podendo, em cidades de grande porte, o valor ser superior. Já FUNASA (2018) aponta que municípios com população acima de 50 mil habitantes podem adotar valores de demanda per capita (consumo + perdas) entre 200 e 300 l/hab.d.

Dessa forma, é possível inferir que o consumo per capita de Altamira (340,24 l/hab.d) está acima da média nacional e dos valores de referência de literaturas técnicas. Utilizando dados disponíveis no relatório do SINISA de consumo per capita de 298 municípios brasileiros (22 da região Centro-Oeste, 57 da Nordeste, 22 da Norte, 143 da Sudeste e 54 da Sul) enquadrados na categoria de grande porte (de 100.001 hab a 900.000 hab), mesma categoria de Altamira, foi elaborada a Figura 3, que apresenta os valores médios, as dispersões e os outliers de consumo per capita das cinco regiões do Brasil.

Figura 3 - Boxplot de consumo per capita de água de municípios de grande porte por região



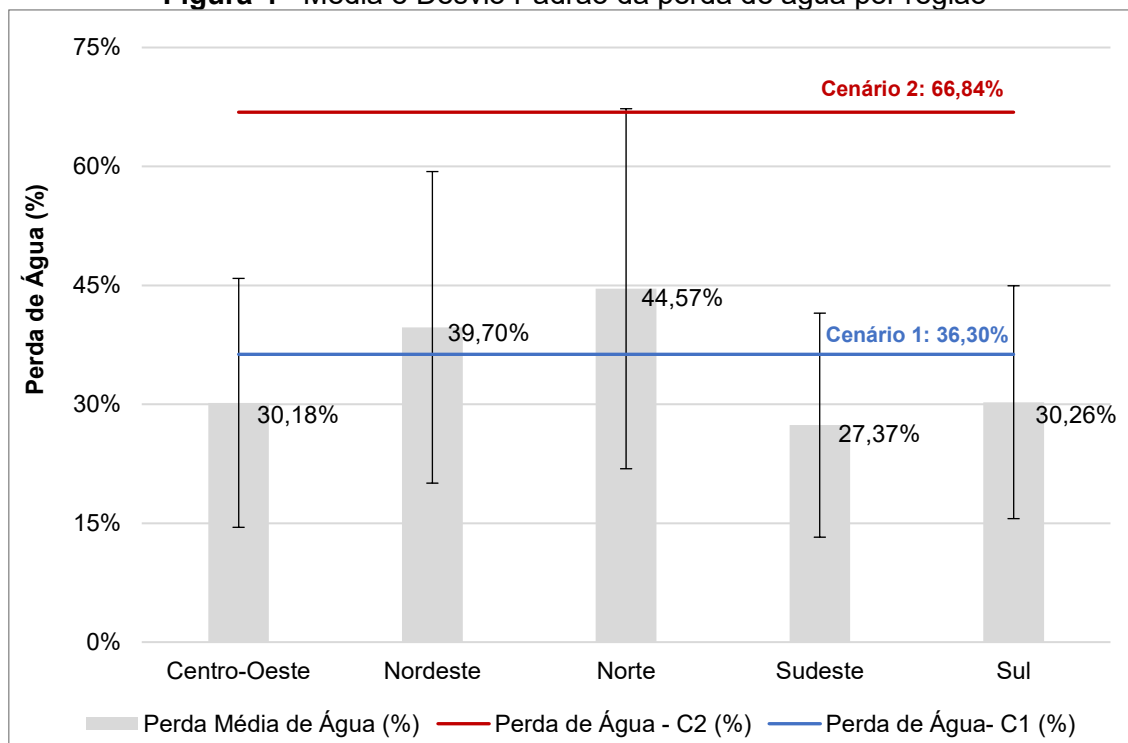
Fonte: autoria própria.

Dos 298 dados de consumo per capita analisados, apenas 15 (5,03%) foram considerados atípicos, ou seja, fora da distribuição típica dos dados (*outliers*). Entre esses dados atípicos está o consumo per capita de Altamira (340,24 l/hab.d), que é o quinto maior valor de toda a série de dados e o maior valor e o único *outlier* da região Norte. Esse comportamento indica que o valor de consumo per capita de Altamira está fora do padrão de consumo nacional e regional.

Assim, considerando que o atual consumo de água de Altamira é fruto de estimativa, em razão da inexistência de micromedição, foi estimado um novo consumo de água para o município utilizando um parâmetro de consumo per capita dentro do padrão de consumo da região Norte, no caso, o valor de média da Região (177,11 l/hab.d). Assim, o produto do referido consumo per capita pela população atualmente abastecida no Município (65.558 hab) resultou no consumo estimado de 4.238.007 m³/ano de água (Cenário 2). A diferença entre o volume produzido (12.780.830 m³/ano) e o novo consumo estimado resultou na perda estimada de 8.542.823 m³/ano de água (66,84%).

A fim de comparar as perdas de água dos Cenários 1 e 2, foram utilizados dados de índice de perda de água disponível no Relatório do SINISA de 4.870 municípios (213 da região Centro-Oeste, 1.627 da Nordeste, 335 da Norte, 1.576 da Sudeste e 1.119 da Sul) para calcular a média e o desvio padrão dos índices de perda de água por região, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Média e Desvio Padrão da perda de água por região



Fonte: autoria própria.

Assim, pode ser observado que a perda de água do Cenário 1 (36,30%) está próxima dos valores de perda média das cinco regiões, estando, inclusive, abaixo do índice médio da região Norte (44,57%). Entretanto, o índice de perda do SAA de Altamira estimado no Cenário 2 (66,84%) é expressivamente maior que índices médios das cinco regiões, estando próximo ao limite superior do desvio padrão da região Norte. Dessa forma, caso o consumo de água real de Altamira seja próximo do valor estimado no Cenário 2, mais da metade do volume produzido de água estaria sendo perdido, o que implica em significativa perda financeira resultante do custo de produção desse volume de água.

A partir do valor do índice de perda de água aceitável adotado neste trabalho (20%), do consumo do Cenário 2 (4.238.007 m³/ano, 80% da demanda) e utilizando a Equação 3, calculou-se a demanda de água em 5.297.508 m³/ano (100%) do Cenário 2. Na Tabela 1 são resumidos os valores de demanda, consumo e perda aceitável de água e para os dois cenários com consumo per capita de 340,24 l/hab.d e de 177,11 l/hab.d.

Tabela 1 – Demanda, Consumo e Perda de Água Aceitável nos Cenários 1 e 2.

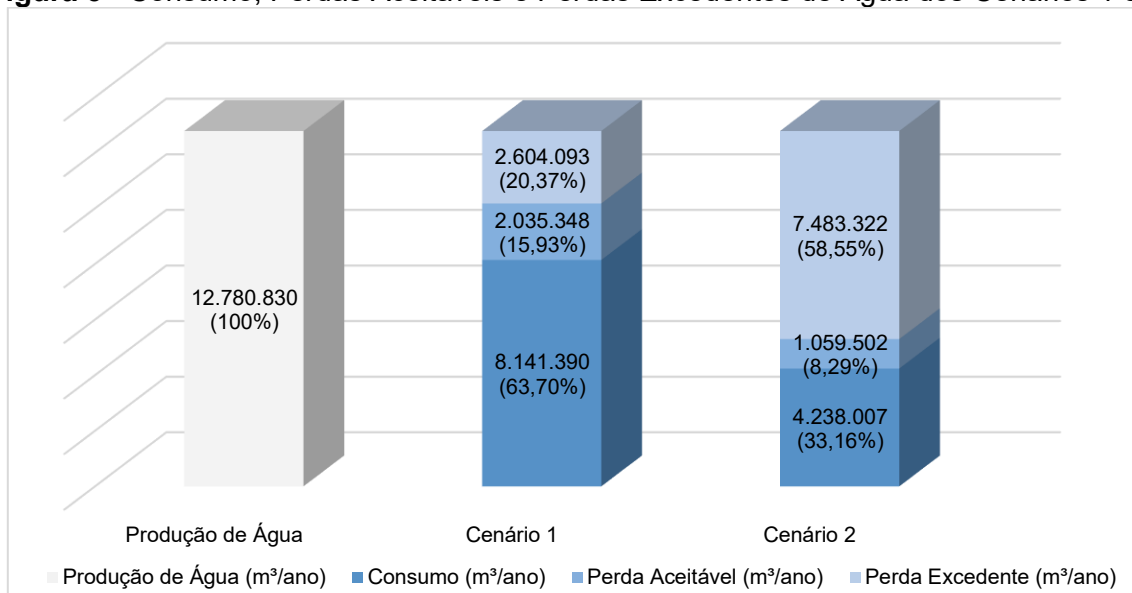
Variável	Cenário 1 (q: 340,24 l/hab.d)*		Cenário 2 (q: 177,11 l/hab.)**	
	Demanda (m ³ /ano)	10.176.738	100,00%	5.297.508
Consumo (m ³ /ano)	8.141.390	80,00%	4.238.007	80,00%
Perda Aceitável (m ³ /ano)	2.035.348	20,00%	1.059.502	20,00%

*Valor proveniente do relatório do SINISA 2023, **Valor médio da região Norte apresentado na Figura 3
Fonte: autoria própria.

Considerando que em Altamira foi produzido, em 2023, 12.780.830 m³/ano, a diferença entre este valor e a demanda de água (consumo + perdas aceitáveis de 20%) é considerando como perda excedente de água. Na Figura 5 são apresentados o consumo,

as perdas aceitáveis e as perdas excedentes de água dos Cenários 1 e 2.

Figura 5 - Consumo, Perdas Aceitáveis e Perdas Excedentes de Água dos Cenários 1 e 2



Fonte: autoria própria.

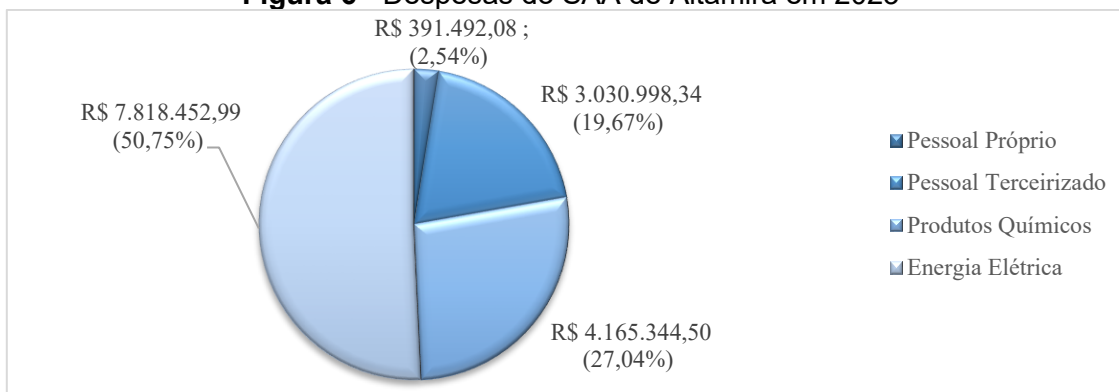
Tanto no Cenário 1 quanto no Cenário 2 as perdas excedentes de água são significativas, apresentando cerca de um quinto do volume produzido no primeiro cenário e mais da metade no segundo. Os custos envolvidos na produção de água tratada dependem fortemente dos gastos operacionais, especialmente daqueles relacionados ao consumo de EE e ao emprego de PQ nas etapas de tratamento.

Pedrosa (2021) enfatiza que esses insumos representam parcela significativa do custo total da água, influenciando diretamente a eficiência econômica dos sistemas de abastecimento. Os custos de exploração, que englobam energia, insumos químicos e demais despesas operacionais, variam conforme as características e o nível de eficiência de cada sistema, refletindo diferenças de gestão e infraestrutura (IPEA, 2025).

Além disso, análises metodológicas sobre custos operacionais em sistemas de saneamento ressaltam que a avaliação financeira do SAA deve considerar o impacto conjunto da energia e dos PQ, já que ambos exercem influência direta na viabilidade e no desempenho dos sistemas (Silva, Novaes e Frata, 2024). Esses autores convergem ao demonstrar que o controle eficiente desses insumos é essencial para o aprimoramento técnico e econômico dos serviços de abastecimento de água no país.

As despesas com EE (R\$ 7.818.452,99) e com PQ (R\$ 4.165.344,50) corresponderam, respectivamente, a 50,75% e 27,04% da despesa total do SAA de Altamira em 2023 (R\$ 15.406.287,91) (Brasil, 2024). Na Figura 6 são apresentadas todas as despesas do SAA de Altamira e a sua representatividade percentual em relação à despesa total.

Figura 6 - Despesas do SAA de Altamira em 2023



Fonte: Brasil (2024).

Utilizando as Equações 5 e 6, foram calculados os indicadores Custo Específico de Energia Elétrica (CUE) e o Custo Específico de Produtos Químicos (CUQ) do SAA de Altamira, conforme apresentado na Tabela 2.

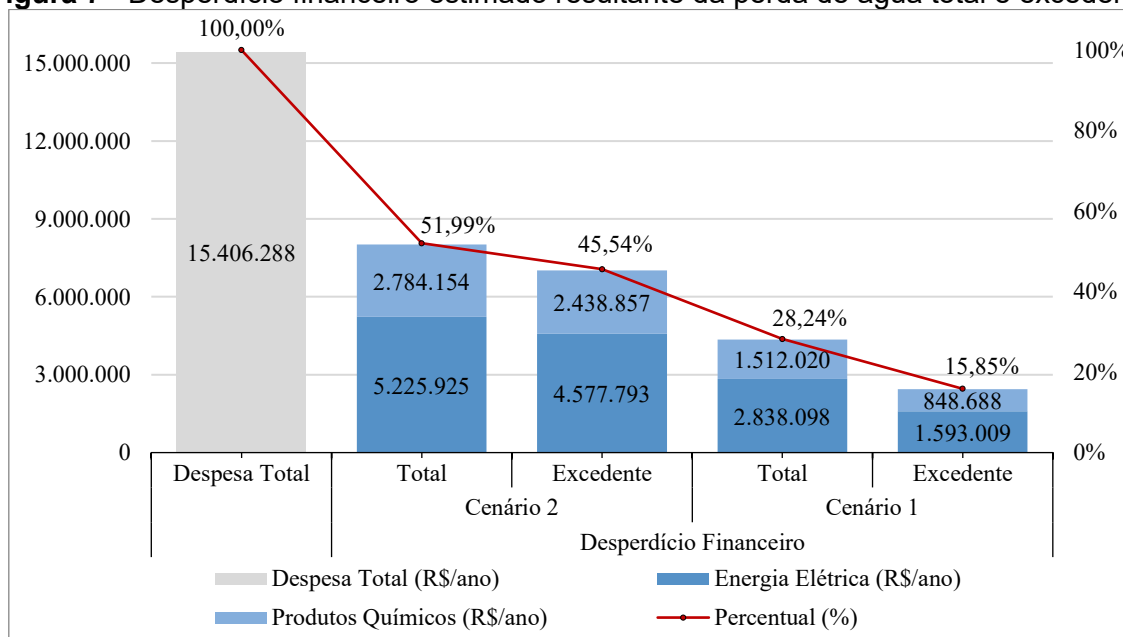
Tabela 2 – Custo específico de energia elétrica e produtos químicos do SAA de Altamira.

Variável	Energia Elétrica	Produtos Químicos
Volume de Água Produzido (m ³ /ano)	12.780.830	12.780.830
Despesa de Produção (R\$)	7.818.452,99	4.165.344,50
Custo Específico da Produção (R\$/m ³)	0,61	0,33

Fonte: autoria própria.

Dessa forma, a produção de cada metro cúbico de água no SAA de Altamira demandou, em média, R\$ 0,61 de EE e R\$ 0,33 de PQ em 2023. Com base nesses dados, foi possível estimar o impacto financeiro resultante da perda total e excedente de água nos dois cenários estudados (Figura 7).

Figura 7 - Desperdício financeiro estimado resultante da perda de água total e excedente.



Fonte: autoria própria.

Considerando a soma do custo agregado de EE e PQ ao volume total de água perdido no Cenário 1, é estimada perda financeira de R\$ 4.350.117,00, correspondente a 28,24% da despesa total do SAA de Altamira. Já em relação à perda excedente de água do Cenário 1, a perda financeira estimada foi de R\$ 2.441.697,00 (15,85%).

Entretanto, o Cenário 2 demonstra que a perda financeira real resultante da perda de água pode ser ainda muito maior caso o consumo per capita da população de Altamira seja próximo ao valor da região Norte. No caso, em relação à perda total de água, a perda financeira seria de R\$ 8.010.079,00 (51,99%), enquanto em relação à perda excedente, a perda financeira seria de R\$ 7.016.650,00 (45,54%) da despesa total do SAA.

Esses dados demonstram a necessidade dos índices de perda de água do SAA de Altamira serem reduzidos a patamares aceitáveis com a finalidade de tornar a prestação do serviço menos onerosa. No estudo de Kusterko *et al.* (2018), evidencia-se que a redução das perdas em sistemas de abastecimento de água depende da adoção de um conjunto integrado de ações operacionais. Os autores destacam que medidas como a setorização da rede, o aprimoramento da macro e da micromedicação, o controle adequado de pressões e o cadastro técnico atualizado são fundamentais para compreender o comportamento do sistema e identificar pontos críticos.

Essas ferramentas permitem direcionar intervenções de forma mais precisa, favorecendo o monitoramento contínuo, a detecção de vazamentos e a melhoria da eficiência hidráulica, o que contribui diretamente para a diminuição tanto das perdas físicas quanto das aparentes.

Além disso, caso a perda de água consiga chegar ao patamar de 20% da demanda total de água, o volume de água que deixaria de ser desperdiçado poderia ser utilizado para cobrir o déficit de abastecimento da população urbana, já que 42.718 habitantes ainda não são contemplados com esses serviços. Utilizando a Equação 9, foi estimado o número de habitantes que poderia ser abastecido apenas com a redução da perda excedente de água nos Cenários 1 e 2 (Tabela 3).

Tabela 3 – Estimativa de população potencialmente abastecida com o volume perdido de água.

Variável	Cenário 1	Cenário 2
Perda Excedente (m³/ano)	2.604.093	7.483.322
Consumo Per Capita (l/hab.d)	340,24	177,11
Capacidade de abastecimento (hab)	20.969	115.760

Fonte: autoria própria.

No Cenário 1, o volume de perda excedente tem capacidade de abastecer 20.969 habitantes que consomem 340,24 l/hab.d, reduzindo o déficit de abastecimento atual de 39,45% para apenas 20,09%.

Já no Cenário 2, o volume de perda excedente permitiria abastecer 115.760 habitantes, considerando um consumo médio diário de 177,11 L/hab.dia. Esse volume seria suficiente para atender toda a população de Altamira ainda não contemplada pelo SAA (42.718 habitantes) e ainda restaria volume de água capaz de suprir outros 73.042 habitantes, que corresponde a um incremento de 67,46% de população futura em um eventual crescimento populacional.

Esses resultados evidenciam que as ações de combate às perdas de água,

necessárias para reduzir o índice de perdas do SAA de Altamira a níveis aceitáveis, são fundamentais tanto do ponto de vista econômico quanto para a universalização dos serviços. Além disso, tais medidas são essenciais para promover o uso racional dos recursos, especialmente a água captada nos mananciais, a EE e os PQ utilizados no sistema.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O SAA de Altamira-PA ainda apresenta um expressivo déficit de atendimento urbano, com pouco mais de um terço da população urbana não sendo atendida com serviços de abastecimento de água. Esse cenário demonstra que, apesar do volume expressivo de água produzida pelo sistema, a prestação do serviço ainda está distante de alcançar a universalização do abastecimento público, demonstrando a necessidade de expansão do SAA para as áreas ainda não cobertas.

A análise do SAA de Altamira permitiu identificar que o índice de perdas apresenta valores elevados e superiores ao que seria esperado para um sistema eficiente, resultando em desperdício de água tratada e aumento expressivo dos custos operacionais. A estimativa dos indicadores de consumo e perdas de água evidenciou que uma parcela significativa da água produzida não chega ao consumo final, gerando impactos econômicos relevantes devido aos gastos com energia elétrica e produtos químicos utilizados no tratamento.

A análise do consumo per capita informado por Altamira no SINISA revelou valor substancialmente superior à média nacional e, especialmente, à média da Região Norte, indicado que o valor informado no relatório de 2023 do SINISA pode estar superestimado. Essa hipótese é corroborada pelo fato de inexistir micromedição no SAA de Altamira, o que impossibilita a identificação da perda real de água, que pode ser ainda maior do que a informada.

Caso o consumo real do município se aproximasse da média regional, o índice de perdas do sistema passaria de pouco mais de um terço (Cenário 1) para cerca de dois terços do volume de água produzido (Cenário 2), evidenciando fragilidades nos dados operacionais e índice de perda de água em nível crítico. Dessa forma, a diminuição do volume perdido de água reduziria substancialmente as perdas financeiras, reforçando a importância de ações voltadas à eficiência operacional do sistema.

Observou-se, ainda, que a ausência de micromedição e a limitação de dados consolidados dificultam a avaliação precisa e detalhada das perdas, mas não impedem a estimativa de seus efeitos e o reconhecimento da necessidade de melhorias estruturais. Dessa forma, os cenários analisados demonstraram que o volume de água atualmente perdido no SAA de Altamira possui elevado potencial de recuperação e poderia ser utilizado para ampliar significativamente a cobertura do abastecimento.

Mesmo no cenário mais conservador (Cenário 1), a redução das perdas excedentes permitiria atender parcela expressiva da população urbana atualmente não contemplada. No cenário em que o consumo per capita se aproxima da média da região Norte (Cenário 2), o volume de água recuperável seria suficiente para abastecer toda a população não atendida e ainda dispor de excedente capaz de suprir o crescimento populacional futuro, evidenciando que o combate às perdas é uma estratégia fundamental tanto para a universalização do serviço quanto para a eficiência econômica e operacional do sistema.

Conclui-se que a redução das perdas no sistema é estratégia urgente e impactante para aumentar a eficiência, reduzir custos e fortalecer a sustentabilidade do abastecimento, contribuindo para um serviço mais confiável e para a gestão responsável dos recursos hídricos do município. Portanto, intervenções como setorização, controle de pressão, modernização de equipamentos, implantação de hidrômetros e aprimoramento dos

processos de monitoramento mostram-se essenciais para reduzir perdas e elevar o desempenho operacional e a sustentabilidade econômica do SAA de Altamira.

REFERÊNCIAS

ABES – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água:** posicionamento e contribuições técnicas da ABES. Revisão 1. São Paulo: ABES, 2015. Disponível em: https://www.abes-sp.org.br/arquivos/perdas_abes_versao-2.pdf. Acesso em: 11 jul. 2025.

ALTAMIRA. **Plano Municipal de Saneamento Básico de Altamira – PMSB.** Altamira: Prefeitura Municipal de Altamira, 2022. Disponível em: <https://altamira.pa.gov.br/wp-content/uploads/2023/03/PMISB-ALTAMIRA-APROVADO.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2026.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Norma de Referência nº 01/2022:** eficiência e redução de perdas. Brasília: ANA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ana>. Acesso em: 13 abr. 2025.

BAEN, Luan Knupp; RESENDE, Wênia Moreira; ARAUJO, Bruno Martins; SILVA, Luan Souza; RODRIGUES, Vitor Franco. Sistema público de abastecimento de água potável: partes constituintes e suas deficiências. In: **Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar.** Mineiros: UNIFIMES, 2018. Disponível em: https://publicacoes.unifimes.edu.br/index.php/coloquio/pt_BR/article/view/408. Acesso em: 19 fev. 2026.

BEZERRA, Saulo de Tarso Marques; CHEUNG, Peter Batista. **Perdas de água:** tecnologias de controle. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013. 220p.

BRASIL. **Relatório dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: SINISA 2024 – ano de referência 2023.** Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SINISA: Brasília, DF: Ministério das Cidades, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/sinisa/resultados-sinisa>. Acesso em: 27 abr. 2025.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o Marco Legal do Saneamento Básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 19 maio 2025.

BRASIL. **Portaria nº 490, de 22 de março de 2021.** Ministério do Desenvolvimento Regional. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 23 mar. 2021, p. 30. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-n-490-de-22-de-marco-de-2021-309988760>. Acesso em: 20 fev. 2026.

CONSÓRCIO EY; MANESCO; ENCIBRA; SANEARES. **Insumo para o Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB:** Município de Altamira. Produto 4. Estado do Pará: Setembro, 2024. Disponível em: <https://www.pge.pa.gov.br/sites/default/files/consulta-publica/blococ/008-ALT-PRSB-00-R1.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2026.

FERREIRA, J. F. H.; LOPES, R. M.; PEREIRA, J. A. Impacto do desempenho hidroenergético de sistema de abastecimento de água no consumo de energia elétrica em

campus universitário. **Revista DAE**. 222. 2020. Disponível em:
https://www.revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_222_n_1848.pdf. Acesso em: 20 fev. 2026. DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.019>

FERREIRA, Jorge Fernando Hungria. **Avaliação do consumo e da despesa de energia elétrica no estudo de concepção de sistema de abastecimento de água**. Orientador(a): Prof. Dr. José Almir Rodrigues Pereira. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

FUNASA. **Cadernos Temáticos Saneamento Básico: Abastecimento de água potável**. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2018. Disponível em:
<http://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Abastecimento+de+%C3%81gua+Pot+%C3%A1vel.pdf>. Acesso em: 23 nov. 2025.

GOMES, H. P., CARVALHO, P.S.O. (org.). **Manual de Sistemas de Bombeamento: Eficiência Energética**. Manual do Usuário. Procel Sanear. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB, 2012.

GOMES, Heber Pimentel. **Abastecimento de Água**. 2. ed. João Pessoa: LENHS – UFPB, 2021.

HAMAWAND, Ihsan. Energy consumption in water/wastewater treatment industry—optimisation potentials. **Energies**, v. 16, n. 5, p. 2433, 2023. Disponível em:
https://www.mdpi.com/1996-1073/16/5/2433?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 20 fev. 2026. DOI: <https://doi.org/10.3390/en16052433>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Altamira (PA)**. Rio de Janeiro: IBGE, 2025. Disponível em:
<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/altamira/panorama>. Acesso em: 20 jun. 2025.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Construindo benchmarks de custos operacionais de prestação de serviços de água e esgoto nos municípios por meio da análise envoltória de dados**. Texto para Discussão, n. 3162, 2025. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br>. Acesso em: 12 dez. 2025.

KUSTERKO, S.; ENSSLIN, S. R.; ENSSLIN, L.; CHAVES, L. C. Gestão de perdas em sistemas de abastecimento de água: uma abordagem construtivista. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, n. 3, p. 615–626, 2018. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/esa/a/Rn6rhxLMbP6NyLNGR3YmJLx/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 dez. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018156436>

LAMBERT, A. O.; BROWN, T. G.; TAKIZAWA, M.; WEIMER, D. A review of performance indicators for real losses from water supply systems. **International Water Association (IWA)**, 2000. Disponível em: <https://scispace.com/pdf/a-review-of-performance-indicators-for-real-losses-from-3eg7bsgrh7.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2026

LIMA, Vanessa Rafaelle Soares de. **Eficiência energética em sistemas de saneamento básico sob a perspectiva do nexo água, energia e alimento**. Orientador(a): Prof. Dr. Leandro Luiz Giatti. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós- Graduação em Saúde Pública, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública, São Paulo, 2022.

LOPES, R. M.; ALVES, A. C. F.; FERREIRA, J. F. H.; MARQUES, M. G.; PEREIRA, J. A.

R. Determinação da despesa com energia elétrica na lavagem de filtro rápido de estação de tratamento de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p. 145–155, 2020. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/esa/a/5KLLQ7dsF4cfKKtXTCDpWnm/?lang=pt>. Acesso em: 19 fev. 2026. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522020176367>

MAIA, Larissa Kelly Freire. **Avaliação das perdas no sistema de abastecimento de água na cidade de Pau dos Ferros – RN**. 2018. 60 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Campus Pau dos Ferros, Pau dos Ferros, 2018. Disponível em:
<https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/fb2cf430-832d-4f2a-b29f-bff4d7fe1192/content>. Acesso em: 27 dez. 2025.

NASCIMENTO, P. Transparência nos municípios brasileiros: as dimensões porte populacional e região importam?. **Revista Sul-Americana de Ciência Política**, 7(2), 137-156. 2021. Disponível em:
<https://periodicos.ufpel.edu.br/index.php/rsulacp/article/view/20440>. Acesso em: 12 dez. 2025. DOI: <https://doi.org/10.15210/rsulacp.v7i2.20440>

PEDROSA, Valmir de Albergaria. **O custo da água: fundamentos da engenharia econômica aplicados à infraestrutura hídrica**. Vitória: ArcelorMittal, 2021. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com>. Acesso em: 12 dez. 2025.

PEREIRA, José Almir Rodrigues; CONDURÚ, Marise Teles. **Abastecimento de água: informação para eficiência hidroenergética**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2014.

RAVELOJAONA, P.; ABAD, A.; ALVES, P. N.; PINTO, F. S.; COSTA-MELO, I. Water losses: A productivity analysis of the water supply in Portugal. **Omega**, v. 138, 2026. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048325001574>. Acesso em: 20 fev. 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.omega.2025.103431>

RODRIGUES, Ludmila Machado. **Análise de Eficiência Energética em Sistema de Abastecimento de Água**. Dissertação de Mestrado orientada por: Dra. Andréa Teresa Riccio Barbosa. Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Mestrado Profissional em Eficiência Energética e Sustentabilidade. 2024.

SILVA, Luana Ribeiro da; NOVAES, Luciano Farias de; FRATA, Gustavo Almeida. Metodologia para estimativa dos custos de operação de sistema de desaguamento de lodo por centrifuga e bags: estudo de caso em três estações de tratamento de água. **Revista DAE**, São Paulo, n. 247, 2024. Disponível em:
https://www.revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_247_n_2273.pdf. Acesso em: 27 dez. 2025.

SOUSA, A. C. de; SOARES, A. K. Modelo para otimização hidroenergética da operação de bombeamento em sistemas de distribuição de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 26, n. 3, p. 429–440, 2021. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/esa/a/6hxRLRrNgdkCD73Cxf7gsFs/?lang=pt>. Acesso em: 20 fev. 2026. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190255>

TRATA BRASIL. **Perdas de água 2018 (SNIS 2016)**: desafios para disponibilidade hídrica e avanço da eficiência do saneamento básico. São Paulo: Instituto Trata Brasil; GO

Associados, maio 2018. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/estudo-completo.pdf>. Acesso em: 27 dez. 2025.

TRATA BRASIL. **Perdas de água potável no Brasil: desafios e avanços**. São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.tratabrasil.org.br>. Acesso em: 13 abr. 2025.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 4 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014.

ŻYWIEC, Jakub; ROŻNOWSKI, Mateusz; SZPAK, Dawid; TCHÓRZEWSKA-CIEŚLAK, Barbara. Bayesian method for estimating water supply network repair time. **Water Resources and Industry**, v. 35, 2026, art. 100347. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212371726000077>. Acesso em: 20 fev. 2026. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2026.100347>