



**SOCIEDADE DE ENSINO SUPERIOR DE SERRA TALHADA – SESST
FACULDADE DE INTEGRAÇÃO DO SERTÃO – FIS
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL**

EDVALDO MORENO DE LIMA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA DO SISTEMA ADUTOR DO
SERTÃO EM PERNAMBUCO**

SERRA TALHADA – PE

2023

EDVALDO MORENO DE LIMA

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA DO SISTEMA ADUTOR DO
SERTÃO EM PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Civil, da Faculdade de Integração do Sertão, pelo aluno EDVALDO MORENO DE LIMA como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. MSc. Jussara Clarissa Alves de Lima Oliveira

SERRA TALHADA – PE

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Carmélia Ignácio de Mello
Faculdade de Integração do Sertão – FIS

L732a Lima, Edvaldo Moreno de.
Análise da eficiência hidroenergética do sistema adutor do sertão em Pernambuco / Edvaldo Moreno de Lima. Orientador: Prof^ª. MSc. Jussara Clarissa Alves de Lima Oliveira. – Serra Talhada, 2023.

24 f.: il.; tab. –

Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade de Integração do Sertão, Serra Talhada, 2023.

1. Adutora de Água Bruta. 2. Consumo Específico Normalizado. 3. Eficiência Hidroenergética. I. Lima, Edvaldo Moreno de. II. Oliveira, Jussara Clarissa Alves de Lima. (orient). III. Título.

69 CDU (1997)
Adely Edite - CRB-4/1845

EDVALDO MORENO DE LIMA

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA DO SISTEMA ADUTOR
DO SERTÃO EM PERNAMBUCO

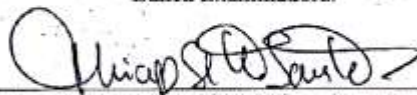
Artigo apresentada à disciplina de TCC 2 do curso de Bacharelado em Engenharia Civil, da Faculdade de Integração do Sertão – FIS, como requisito parcial para o título de Bacharel em Engenharia Civil, sob a orientação do(a) Profa. Ms. Jussara Clarissa Alves de Lima Oliveira.

Artigo Aprovado pela banca examinadora, Sem ressalvas
(Aprovado/Reprovado) (com/sem)

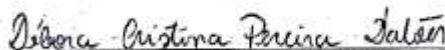
com nota 10,0 (Dez)

em 15 de junho de 2023

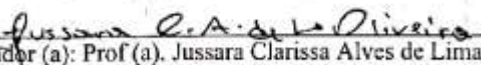
Banca Examinadora:



Examinador (a): Prof (a) Thiago Sette Santos.
Faculdade de Integração do Sertão – FIS

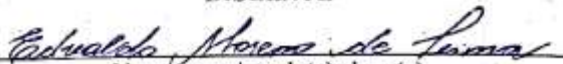


Examinador (a): Prof (a). Débora Cristina Pereira Valões.
Faculdade de Integração do Sertão – FIS



Orientador (a): Prof (a). Jussara Clarissa Alves de Lima Oliveira.
Faculdade de Integração do Sertão – FIS

DISCENTE



Nome completo do(a) aluno(a)

ANÁLISE DA EFICIÊNCIA HIDROENERGÉTICA DO SISTEMA ADUTOR DO SERTÃO EM PERNAMBUCO

HYDROENERGETIC EFFICIENCY ANALYSIS OF THE ADDUCTOR SYSTEM OF THE SERTÃO IN PERNAMBUCO

Edvaldo Moreno de Lima¹, Jussara Clarissa Alves de Lima Oliveira¹

¹Faculdade de Integração do Sertão, Serra Talhada-PE, Brasil

RESUMO

Na ausência de mananciais superficiais e subterrâneos, muitas localidades dependem de sistemas adutores para suprirem as necessidades de suas populações a partir da exploração de fontes hídricas distantes. As adutoras que operam sob sistema de recalque se caracterizam pelo alto consumo de energia elétrica, despesa correspondente ao terceiro maior custo das companhias de saneamento, cujo monitoramento e controle são fundamentais para a sustentabilidade econômica dos sistemas de abastecimento de água. Nesse contexto, considerando que o acompanhamento dos indicadores de desempenho dos sistemas adutores ainda é uma ação pouco adotada, o presente estudo realizou a análise da eficiência hidroenergética das estações elevatórias de água bruta (EEABs) que compõem o Sistema Adutor do Sertão, pertencente à Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA. Utilizou-se a metodologia de cálculo do Consumo Específico Normalizado (CEN), que consiste na quantidade média de energia consumida, por m³ bombeado, elevado a uma altura manométrica de 100 metros, o que possibilita comparar as eficiências médias de sistemas de bombeamento com características distintas, bem como classificá-las de acordo com parâmetros de referência propostos pelo Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água – ProEESA. A partir de dados operacionais referentes ao ano de 2022, observou-se que as EEABs 01, 02 e 03 apresentaram rendimentos insatisfatórios, da ordem de 27%, 45% e 38%, respectivamente. Verificou-se também um índice de perdas de água bruta de 49% entre as EEABs 02 e 03. Tais indicadores alertam para a necessidade de ações que visem melhorias nos componentes eletromecânicos, além da mitigação de perdas volumétricas.

Palavras-chave: Adutora de Água Bruta. Consumo Específico Normalizado. Eficiência Hidroenergética.

ABSTRACT

In the absence of surface and underground water reservoirs, many localities depend on water pipelines to meet the needs of their populations from the exploitation of distant water sources. Water pipelines that operate under a booster system are characterized by high consumption of electricity, an expense corresponding to the third highest cost for sanitation companies, whose monitoring and control are essential for the economic sustainability of water supply systems. In this context, considering that the monitoring of the performance indicators of the mains systems is still an action little adopted, the present study carried out the analysis of the hydroenergetic efficiency of the raw water pumping stations (EEABs) that make up the Sertão Adductor System, belonging to the Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA. The Normalized Specific Consumption (CEN) calculation methodology was used, which consists of the average amount of energy consumed, per m³ pumped, raised to a manometric height of 100 meters, which makes it possible to compare the average efficiencies of pumping systems with characteristics distinct, as well as classifying them according to reference parameters proposed by the Project for Energy Efficiency in Water Supply Systems – ProEESA. Based on operational data for the year 2022, it was observed that the EEABs 01, 02 and 03 had unsatisfactory yields, around 27%, 45% and

38%, respectively. There was also a 49% rate of raw water loss between EEABs 02 and 03. These indicators point to the need for actions aimed at improving electromechanical components, in addition to mitigating volumetric losses.

Key words: Raw Water Pipeline. Normalized Specific Consumption. Hydroenergetic Efficiency.

INTRODUÇÃO

O uso racional da água e da energia no setor produtivo é um requisito indispensável para o desenvolvimento econômico e social no mundo contemporâneo. Estes insumos são cada vez mais escassos e, por conseguinte, mais caros, onerando, significativamente, os custos de produção no setor industrial (GOMES, 2009).

Segundo levantamento realizado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS (2019), o consumo de energia elétrica representa a terceira maior despesa dos prestadores de serviços de água e esgoto, correspondendo a 14,5% do total, ficando atrás apenas das despesas com pessoal próprio (41,5%) e com serviços de terceiros (18,9%).

O consumo referente aos sistemas de bombeamento de água, da captação às elevatórias, passando pelas estações de tratamento, é responsável, na maior parte das empresas de saneamento, pela parcela mais significativa da conta de energia (GOMES, 2009).

A captação de água tem se tornado cada vez mais dispendiosa devido ao aumento da demanda hídrica dos sistemas, associado à diminuição da qualidade da água bruta disponível e ao aumento da distância dos mananciais aos centros consumidores (GOMES; CARVALHO, 2012). Em 2021, as despesas com energia elétrica das companhias de saneamento alcançaram R\$ 9,0 bilhões, representando um crescimento de 21,9% com relação ao ano anterior. O consumo total em sistemas de abastecimento de água foi de 12,6 TWh, correspondendo a 88,7% dos 14,2 TWh utilizados pelos serviços de água e esgoto (BRASIL, 2022).

Embora as prestadoras de serviço de abastecimento de água, em sua maioria, não tenham sistemas de gestão de energia implantados, seja por falta de conhecimento ou de recursos, e, às vezes, de ambos, o setor de saneamento, que engloba a indústria de produção de água potável é, talvez, o mais estratégico no que diz respeito ao uso conjunto de água e energia e, portanto, merecedor de uma atenção especial, no tocante à racionalidade da utilização destes insumos (GOMES, 2009; SNSA, 2018).

Inerente à abordagem da eficiência energética, inclui-se a temática das perdas de água, uma vez que toda energia utilizada na produção e transporte desse recurso também é perdida (BRASIL, 2022). As perdas correspondem aos volumes não contabilizados, incluindo os volumes não utilizados e os volumes não faturados, o que configura um dos maiores problemas dos sistemas de abastecimento brasileiros, relacionando-se diretamente com as despesas de produção e distribuição e com a redução da receita operacional (HELLER; PÁDUA, 2010).

É uma situação comum nas companhias de saneamento a falta de acompanhamento dos desempenhos eletromecânico e hidroenergético de sistemas elevatórios de água. Por conta disso, existem custos significativos que são desconhecidos e, como consequência, não são evitados de forma efetiva (SILVA et al., 2019). A gestão começa pelo entendimento e pela mensuração do processo. O sistema de medição e registro das grandezas envolvidas é o primeiro grande ausente na maior parte das prestadoras, seja por falta de conhecimento ou de recursos, e, às vezes, de ambos (SNSA, 2018).

Um bom planejamento e tomada de decisão dependem da quantificação das características operacionais do sistema e sua posterior qualificação. Através desses estudos, é possível comparar um sistema com outro de iguais características, ou então, estabelecer o que pode ser economizado e, por exemplo, determinar a viabilidade econômica de possíveis alterações necessárias no sentido da diminuição das perdas energéticas (STEFFENS, 2019).

O diagnóstico hidroenergético de um sistema de abastecimento de água consiste na determinação dos possíveis ganhos em eficiência, através de estudos multidisciplinares, cujo resultado é uma lista de possíveis intervenções com suas respectivas estimativas de redução no consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, dos gastos associados, bem como leva em consideração a redução das perdas de água (GOMES; CARVALHO, 2012).

O envelhecimento gradual dos sistemas de abastecimento se reflete na evolução do índice de consumo de energia elétrica, tanto nos seus componentes de construção civil, como de equipamentos eletromecânicos. Além disso, a falta de medidas de reabilitação e de manutenção preventiva tem um impacto negativo na eficiência energética dos sistemas, especialmente nos equipamentos eletromecânicos, que são centros de custos de exploração importantes (BRASIL, 2019).

De acordo com relatório do Tribunal de Contas da União - TCU (2003), o estado de Pernambuco já havia implantado, desde os anos 80, a adutora de Salgueiro, com captação de água diretamente do Rio São Francisco, em Cabrobó-PE. Ademais, enfatiza também a ocorrência de problemas de operação e manutenção, tanto do ponto de vista físico (sucateamento) como do ponto de vista comercial (furto de água).

Diante do exposto, o presente estudo buscou avaliar a eficiência hidroenergética das estações elevatórias de água bruta do Sistema Adutor do Sertão, conhecido popularmente como Sistema Adutor de Salgueiro, devido a principal cidade por ele abastecida. Para isso, foram utilizados o cálculo do Consumo Específico Normalizado (CEN) e seus valores de referência, propostos pelo Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água - ProEESA.

MÉTODO

Para a realização do estudo, contou-se com o apoio da Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA, concessionária que opera o Sistema Adutor do Sertão, para o fornecimento de dados eletromecânicos, relatórios operacionais, volumes bombeados e históricos de consumo de energia elétrica, referentes ao ano de 2022.

CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O estudo foi realizado nas instalações das três estações elevatórias de água bruta do Sistema Adutor do Sertão. As referidas unidades estão localizadas no município de Cabrobó, em Pernambuco, Brasil.

Situado na mesorregião do São Francisco Pernambucano, e pertencente à microrregião Petrolina, o município ocupa uma área de 1.658,62 km² e possui um contingente populacional estimado em cerca de 34 mil habitantes (IBGE, 2023). Sua sede está localizada na latitude 08°30'43" Sul e longitude 39°18'24" Oeste, altitude aproximada de 325 metros e distando 536,10 km da capital, Recife. Cabrobó está inserida na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, possuindo vegetação basicamente composta por caatinga hiperxerófila com trechos de floresta caducifólia. O clima é do tipo tropical semiárido, com chuvas de verão. A precipitação média anual é de 431,80 mm, com período chuvoso de novembro a abril (CPRM, 2005).

O SISTEMA ADUTOR

O Sistema Adutor do Sertão, cuja captação encontra-se instalada à margem do Rio São Francisco, no município de Cabrobó-PE, é composto por um sistema integrado e possui extensão total de 145,00 km de rede adutora de água bruta, dos quais 27,00 km funcionam sob regime de recalque e 118,00 km por gravidade.

O trecho por gravidade é composto por subadutoras que atendem aos sistemas de abastecimento de água (SAAs) de cidades e distritos situados na região do Sertão Central, nos quais ocorrem os processos de tratamento, reservação e distribuição. Conforme ilustrado na Figura 1, ao todo, o sistema atende a localidades situadas nos municípios de Salgueiro, Serrita, Terra Nova e Verdejante, compreendendo um contingente populacional de cerca de 100,6 mil habitantes.

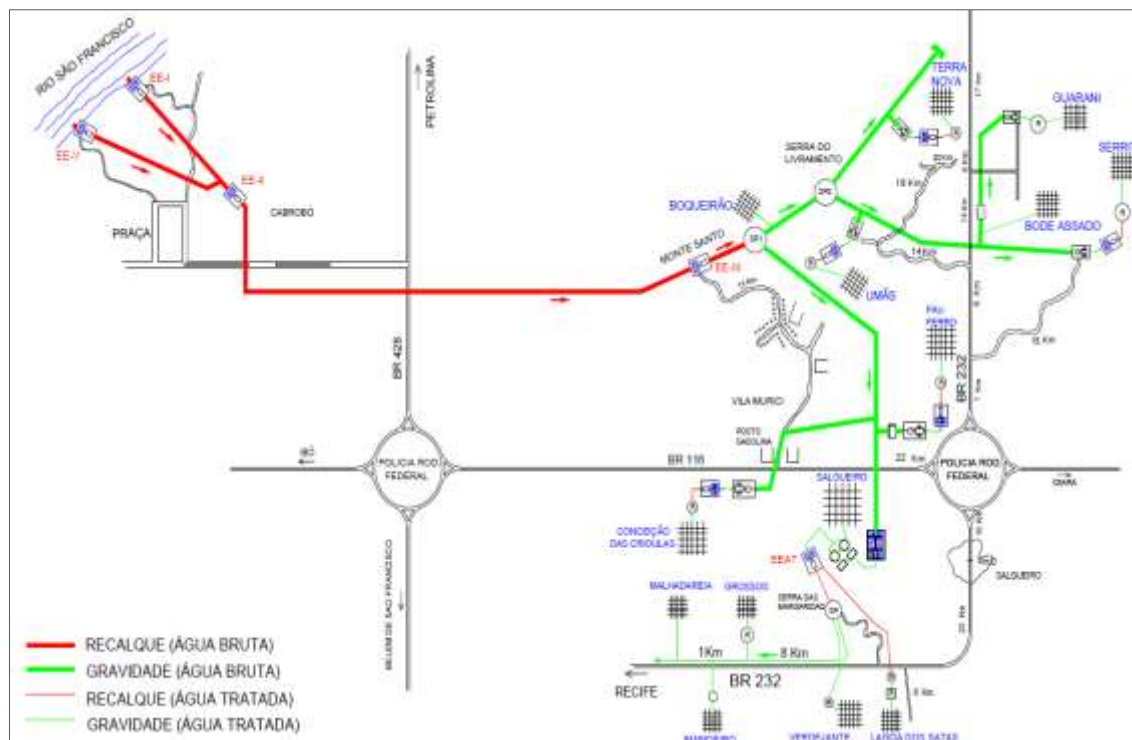


Figura 1: Esquema hidráulico do Sistema Adutor do Sertão.
Fonte: COMPESA (2022).

Devido à defasagem do Sistema Adutor do Sertão com relação à população atendida, os SAAs de Salgueiro, Serrita e Terra Nova passaram a ser abastecidos a partir de sistemas isolados, com captações nos reservatórios de Negreiros e Serra do Livramento, que fazem parte do Eixo Norte do Projeto de Integração do Rio São Francisco – PISF. A cidade de Verdejante, bem como os distritos de Lagoa dos Satas, Grossos e Malhadareia, são abastecidos com água tratada diretamente da ETA Salgueiro.

Embora encontrem-se atualmente independentes do Sistema Adutor do Sertão, essas localidades ainda mantêm a infraestrutura conectada, primeiro, porque não há necessidade de remover as redes adutoras antigas e, segundo, para ter uma fonte auxiliar de abastecimento e possibilitar sua reativação em casos emergenciais. Atualmente, o Sistema Adutor do Sertão continua em operação, sendo a principal fonte de abastecimento dos distritos de Pau Ferro, Umãs e Conceição das Crioulas (Salgueiro) e Gurani (Terra Nova).

ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS DE ÁGUA BRUTA - EEABs

O trecho por recalque opera com o auxílio de três estações elevatórias de água bruta - EEABs, ambas do tipo poço de sucção e com seus conjuntos motor-bomba funcionando em paralelo, sendo elas: EEAB 01, EEAB 02 e EEAB 03.

Além das três EEABs principais, existe ainda a EEAB 05, uma segunda captação, instalada no mesmo manancial e próxima à EEAB 01, que funciona como unidade auxiliar, e também abastece a EEAB 02. Conforme dados fornecidos, em 2022, ela operou apenas entre os meses de fevereiro e abril, sendo desativada com a redução da demanda do sistema adutor. Devido ao reduzido período de funcionamento, a unidade não foi avaliada no cálculo dos indicadores de desempenho, no entanto, os volumes bombeados foram considerados na EEAB 02, sua unidade imediatamente a jusante.

O Quadro 01 apresenta um resumo dos dados acerca das EEABs 01, 02 e 03. São apresentados também dados operacionais, como o volume total bombeado (m³), a altura manométrica média (mca) e o consumo total de energia elétrica (kWh) referentes ao ano de 2022. Tais dados podem ser verificados mais detalhadamente nos Anexos 01 e 02.

Quadro 1: Dados operacionais das EEABs.

Unidade Operacional	Dados dos CMBs			Dados Operacionais (2022)		
	Nº do CMB	Potência (cv)	Situação de Funcionamento	Volume Total Bombeado (m ³)	Altura Manométrica Média (mca)	Energia Elétrica Consumida (kWh)
EEAB 01	01	100	Operante	9.215.937,86	22,00	2.076.978,29
	02	100	Operante			
	03	100	Operante			
	04	100	Reserva			
EEAB 02	01	500	Operante	9.523.307,12	151,00	8.718.839,28
	02	500	Operante			
	03	500	Operante			
	04	500	Reserva			
EEAB 03	01	500	Operante	4.848.694,04	152,00	5.348.106,00
	03	500	Operante			
	04	450	Operante			

Fonte: Adaptado da COMPESA (2023).

A EEAB 01 corresponde à captação, portanto, é a unidade mais a montante de todo o sistema. Dela, a água é recalçada até a EEAB 02, localizada a 1,53 km a jusante, sendo aduzida através de uma tubulação de aço, com diâmetro de 600 mm. Devido o comprimento de rede adutora entre as duas unidades ser relativamente curto, sem indícios de vazamentos ou furtos, considera-se que não há perda significativa de vazão no trecho.

Os volumes que chegam à EEAB 02, por sua vez, são bombeados até a EEAB 03, cuja adução ocorre por uma rede adutora de 24,60 km de extensão, com diâmetro de 700 mm, também de aço.

A EEAB 03 é última unidade de bombeamento de água bruta do sistema adutor, encarregada de elevar a água até um stand pipe localizado a 1,10 km, a partir do qual a água passa a escoar por gravidade. Esse trecho de adutora também é constituído por tubulação de aço, com diâmetro de 700 mm.

Todas as EEABs analisadas não possuem aparelhos de medição de vazão e volumes bombeados. Como alternativa, a companhia estima os valores com base nos relatórios de informações operacionais, nos quais encontram-se registrados os horários de funcionamento dos CMBs. Exemplo desses relatórios podem ser verificados nos Anexos 3, 4 e 5.

A vazão média adotada, para os CMBs e para a associação deles, é aferida por meio de ensaios pitométricos. Os pontos de medição são chamados de estações pitométricas (EPs), nas quais encontram-se instalados registros específicos para esse tipo de serviço, chamados de registros de derivação (TAP). Esses registros são utilizados para a instalação do equipamento de medição instantânea, geralmente, tubo de Pitot do tipo cole. O sistema adutor dispõe de EPs instaladas nas saídas das EEABs 01 e 05, e nas chegadas e saídas das EEABs 02 e 03, o que permite a aferição de vazão e pressão.

CÁLCULO DO DESEMPENHO ENERGÉTICO DAS EEABs

De uma forma geral, avalia-se a eficiência energética de um sistema ou instalação por meio do consumo específico (CE), obtido pela relação entre o consumo de energia elétrica (kWh) e o volume bombeado (m^3), buscando-se obter o menor índice nas condições intrínsecas do sistema ou instalação estudados (SNSA, 2018).

Embora esse método seja útil para acompanhar o desempenho de uma mesma instalação de bombeamento ao longo do tempo, além de refletir a eficiência do conjunto motor-bomba unida à eficiência do sistema hidráulico a jusante da bomba, ele não se presta a comparar o desempenho de estações de bombeamento distintas. Isto se deve ao fato de que diferentes sistemas recalcam água a diferentes alturas manométricas, em diferentes configurações hidráulicas, consumindo, naturalmente, diferentes quantidades de energia, ainda que os rendimentos dos equipamentos possam ser iguais (GOMES, 2009).

Objetivando o estabelecimento de um parâmetro que permitisse a comparação do desempenho de sistemas diferentes, foi desenvolvido o Consumo de Energia Normalizado (CEN), cuja utilização tem se tornado uma prática cada vez mais intrínseca na operação das companhias. De acordo com o ProEESA (2021), o CEN consiste na quantidade média de energia consumida por m^3 elevado a uma altura manométrica de 100 m, correspondendo ao

indicador Ph5 da International Water Association – IWA, permitindo, portanto, inferir sobre a eficiência de estações elevatórias independentemente de zonas com orografia mais e menos acentuada.

Do ponto de vista do conjunto motor-bomba, não importa se os 100 metros que ele tem que vencer se referem a desnível geométrico ou perda de carga nas linhas de recalque. Assim, este indicador não avalia o desempenho dos processos hidráulicos a jusante dos conjuntos motor-bomba, apenas avalia a eficiência dos conjuntos. Portanto, o CEN não deve ser utilizado como indicador da eficiência energética de um processo que envolva intervenções na rede hidráulica, sendo indicado para comparação do rendimento, individual ou médio de um ou vários conjuntos motor-bomba (GOMES, 2009). Seu cálculo pode ser realizado de acordo com a Equação 1.

$$CEN = \frac{D1}{D2} \quad (1)$$

Onde,

CEN: Consumo Específico Normalizado (kWh/m³x100m);

D1: Consumo de energia para bombeamento (kWh/ano);

D2: Fator de uniformização (m³/anox100 m).

O fator de uniformização (D2) é utilizado para promover a normalização das alturas manométricas, sendo definido pela Equação 2.

$$D2 = \sum_{i=1}^n \frac{V_i * h_i}{100} \quad (2)$$

Onde,

V_i: Volume bombeado pela instalação elevatória i (m³);

h_i: Altura manométrica da instalação elevatória i (m).

O CEN pode ser calculado para períodos inferiores ao ano, mas, nesses casos, tanto as comparações internas como externas devem ser feitas com prudência. O valor mínimo teórico, correspondente a rendimentos do motor e da bomba de 100%, é de 0,2725 kWh/m³x100.

Silva et al. (2019) pontuam que esse nível de eficiência corresponde a um sistema capaz de converter toda a energia elétrica fornecida em pressão hidráulica na tubulação de

saída do conjunto motor-bomba, tratando-se, portanto, de um sistema apenas teórico, visto que perdas por vibração, aquecimento, escorregamento, etc., no motor e na bomba sempre ocorrerão, mesmo que possam ser reduzidas a um mínimo.

Uma vez que o CEN corresponde ao inverso da eficiência média de bombeamento do grupo motor-bomba, o rendimento (η) pode ser calculado conforme a Equação 3.

$$\eta = \frac{0,2725}{CEN} \quad (3)$$

Onde,

η : Rendimento do conjunto de bombeamento (%).

Após o processamento dos dados obtidos e o posterior cálculo do CEN, os indicadores foram analisados conforme os valores de referência apresentados na Tabela 1.

Eficiência	Valores de referência (kWh/m³.100m)	Eficiências médias de referência
Boa	0,27 a 0,441	>63%
Mediana	0,441 a 0,586	47 a 63%
Insatisfatória	>0,586	<47%

Fonte: Adaptado do ProEESA (2021).

De acordo com Hagiuda (2019), a avaliação periódica de sistemas, utilizando o indicador do CEN, pode auxiliar os prestadores de serviço de saneamento a alcançarem patamares de boa qualidade em eficiência energética.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados fornecidos, foram calculados os indicadores de Consumo Específico (CE) e Consumo Específico Normalizado (CEN) para as três unidades analisadas, cujos resultados podem ser verificados na Figura 2.

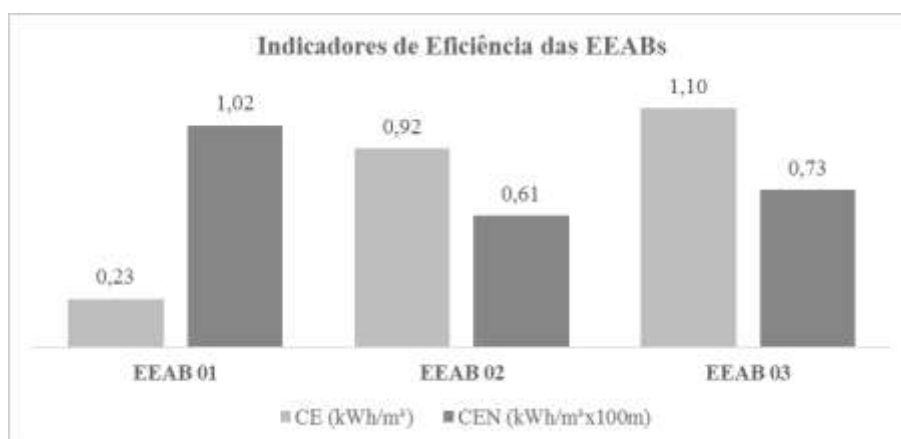


Figura 2: Indicadores de eficiência das EEABs do Sistema Adutor do Sertão - 2022.
Fonte: Autor (2023).

Baseado nos valores de referência recomendados pelo IWA e ProEESA, observou-se que as três unidades apresentaram valores elevados para o indicador do CEN ($>0,586$), o que indica, de modo geral, níveis insatisfatórios de eficiências eletromecânicas.

A EEAB 01 apresentou o menor consumo de energia por metro cúbico bombeado em relação às demais elevatórias ($0,23 \text{ kWh/m}^3$). Isso se deve às potências dos CMBs serem relativamente mais baixas, já que são proporcionais ao consumo de energia. Apesar disso, a unidade destacou-se também por ser aquela com o maior valor do CEN ($1,02 \text{ kWh/m}^3 \times 100\text{m}$), ou seja, a de menor eficiência. Percebe-se, portanto, que o valor do CE não é, necessariamente, proporcional ao CEN.

Embora a EEAB 02 tenha apresentado o segundo maior CE ($0,92 \text{ kWh/m}^3$), o que está diretamente associado às potências dos CMBs instalados, foi a unidade cujo CEN apresentou o menor valor ($0,61 \text{ kWh/m}^3 \times 100\text{m}$). De modo similar, a EEAB 03 também se destacou pelo alto CE ($1,10 \text{ kWh/m}^3$), valor que também foi diretamente influenciado pelas potências dos CMBs que a compõem. A unidade apresentou, também, o segundo maior CEN ($0,73 \text{ kWh/m}^3 \times 100\text{m}$).

Pode-se deduzir, com base nos valores do CEN, a ocorrência de rendimentos insatisfatórios ($<47\%$) para as EEABs 01, 02 e 03, sendo eles na ordem de 27%, 45% e 38%, respectivamente (Figura 3).

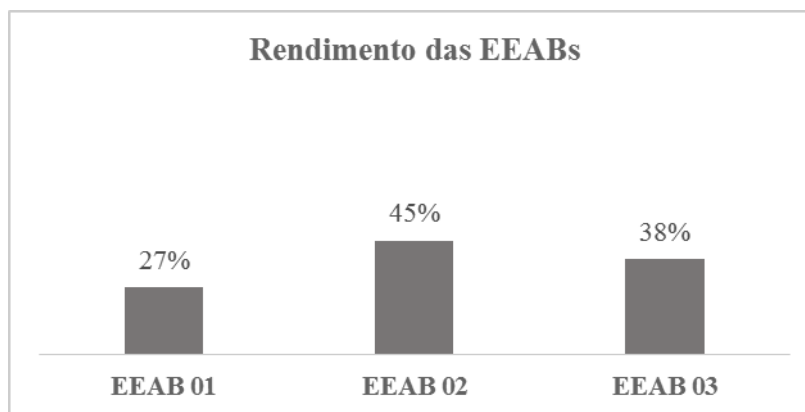


Figura 3: Rendimento equivalente das EEABs do Sistema Adutor do Sertão – 2022.
Fonte: Autor (2023).

Esses indicadores também estão associados ao péssimo estado de conservação da adutora. De acordo com Gomes (2009), alterações no sistema, ocasionadas por vazamentos, incrustações, modificações da topologia, por exemplo, fazem com que os CMBs passem a operar em condições não ideais, provocando perda de rendimento, desgastes prematuros de mancais por vibrações excessivas com operação fora do ponto ideal de trabalho.

Além do desgaste dos componentes hidráulicos, a ocorrência de CMBs antigos, que já foram submetidos a diversos tipos de manutenção, são acometidos por desgastes que ocasionam perdas consideráveis nos rendimentos.

Deve-se enfatizar, também, o índice de perdas de água na adução, entre as EEABs 02 e 03, da ordem de 49%, o que correspondeu a um volume anual de 4.674.613,08 m³. Considerando o CE da EEAB 02 (0,92 kWh/m³), estima-se um desperdício da energia consumida equivalente a 4.279.731,78 kWh.

Uma vez que praticamente toda a água captada, tratada ou distribuída sofre bombeamento, a ocorrência de perda de água significará perda da energia utilizada neste processo, ou seja, há uma associação direta entre perdas de água e de energia (SNSA, 2018).

De acordo com o diagnóstico realizado pelo SNIS (2022), no estado de Pernambuco, o percentual de perdas de água registrado no ano de 2021 foi de 46%. Referente a isso, Pinto (2020) salienta que esses dados consideram apenas o volume de entrada no sistema para a distribuição, ou seja, as perdas de água bruta que ocorrem não são consideradas, caso contrário, resultariam, em alguns casos, numa elevação considerável do índice de água não faturada.

Além dos furtos e perdas físicas, outro fator que contribui para a considerável redução de vazão é o abastecimento em marcha que ocorre ao longo da adutora, atendendo diversas comunidades rurais. Devido às altas pressões, as redes de distribuição dessas localidades são

suscetíveis a constantes vazamentos, que se tornam perdas difusas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora o CEN seja um indicador que forneça apenas um pré-diagnóstico de eficiências eletromecânicas, destaca-se pela praticidade e por possibilitar comparar o desempenho de sistemas distintos.

Pode-se concluir que o desempenho insatisfatório das EEABs está diretamente relacionado ao estado de conservação do sistema adutor. Nesse sentido, a manutenção dos componentes hidráulicos, bem como a substituição de CMBs antigos por modelos mais eficientes, poderiam acarretar melhorias significativas.

A perda volumétrica identificada também alerta para a necessidade de ações que visem a sua mitigação, como por exemplo: implantação de medidores de vazão nas entradas e saídas das EEABs, instalação de EPs para aferição de vazões em trechos estratégicos da adutora, intensificação de fiscalizações, além da instalação de dispositivos para controle de pressão nas derivações de ligações autorizadas.

Vale ressaltar que os indicadores calculados podem apresentar imprecisões em virtude de alguns dados fornecidos terem sido estimados, por exemplo, os volumes bombeados.

Para a realização de diagnósticos de eficiência hidroenergética, o que corresponderia a trabalhos mais bem elaborados e providos de análises mais criteriosas, primeiramente, faz-se necessário que o sistema avaliado disponha de instrumentação adequada. A precisão dos dados utilizados no cálculo de eficiência, assim como em qualquer outro tipo de acompanhamento, é fundamental para que se obtenham indicadores confiáveis e que retratem a real situação das unidades. A qualidade das informações, assim como a criação de sistemas de gestão de energia elétrica, é crucial para auxiliar na tomada de decisões, norteando a destinação de recursos que visem a redução de custos e a otimização das unidades operacionais.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Integração e do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS; Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). Projeto de Eficiência Energética no Abastecimento de Água – ProEESA. **Propostas para abordar a Eficiência Energética em Normas de Referência Nacionais de Saneamento**. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt->

br/assuntos/saneamento/proeesa/EficienciaEnergeticaNormasRegulatoriasSaneamento.pdf. Acesso em: 09 de jun. de 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Eficiência Energética: **Ações de assistência técnica em redução e controle de perdas de água e uso eficiente de energia elétrica**. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/biblioteca/Vol.5GestaodeEnergia.pdf>. Acesso em: 03 de jun. de 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018**. Brasília: SNS/MDR, 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto – Visão Geral**. Brasília: SNS/MDR, 2022.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea**: Diagnóstico do município de Cabrobó, estado de Pernambuco. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

GOMES, H. P.; CARVALHO, P. S. O.; **Manual de Sistemas de Bombeamento**: Eficiência Energética. 1ª Edição. Editora Universitária – UFPB, 2012. 189p.

GOMES, H. P. **Sistemas de Bombeamento** – Eficiência Energética. 1ª Edição. João Pessoa: Editora Universitária – UFPB. 2009.

HAGUIUDA, C. **Avaliação da eficiência energética em sistemas de bombeamento de água da Sabesp**. Encontro Técnico AESABESP – 30º Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente. 2019.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de Água Para Consumo Humano**. 2 Ed. Belo Horizonte. Editora UFMG. 2010.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico de 2022**. 2023. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/cabrobo/panorama>. Acesso em: 30 de abr. de 2023.

PINTO, K. K. M. **Avaliação de perdas em adutora de água bruta em Santa Cruz do Capibaribe - PE**. 2020. Dissertação (Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2020.

SILVA, L. H. P., CRUZ, K. E. A., OLIVEIRA, L. N., NETO, M. T. M., PEDROSA, H. T. S. **Pré-Diagnóstico das Eficiências Eletromecânicas e Hidroenergéticas de Sistemas de Abastecimento de Água a Partir do Consumo Energético Normalizado**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 30. Anais. 2019.

TCU - Tribunal de Contas da União. **Plano Especial de Auditoria de Obras 2003**: Relatório Sintético. Disponível em:

https://www.camara.leg.br/internet/comissao/index/mista/orca/orcamento/OR2004/TCU/OI/18.544.0515.3603.0026_0369.pdf. Acesso em: 02 de maio de 2023.

AGRADECIMENTOS

Entendo que as conquistas que tive não foram alcançadas somente por mim. Mesmo que indiretamente, sempre tive a ajuda de alguém.

Agradeço à minha família. Além de base, é meu abrigo. Onde estão aqueles que compartilham comigo a história da minha vida e que representam sempre o lugar onde meu coração está.

Agradeço aos meus amigos. A extensão da minha família, meus parceiros de caminhada. Agradeço por todo apoio, pela ajuda, pelo companheirismo e pelos momentos de descontração. Sou muito grato por ter conhecido pessoas incríveis, cuja amizade espero cultivar pelo resto da vida.

Agradeço à Companhia Pernambucana de Saneamento pela contribuição neste trabalho que é tão importante para mim, e que marca o fim desta trajetória acadêmica. Em especial, agradeço aos colaboradores compesianos – também colegas de trabalho - que sempre me incentivaram e se mostraram dispostos a contribuir e orientar. São grandes profissionais, com os quais muito tenho aprendido.

Agradeço aos meus professores. De modo especial, à minha orientadora, Jussara Oliveira, e ao meu co-orientador, João Marcus, por terem aceitado o convite para me acompanharem nessa reta final. Agradeço pelo apoio, pelas instruções e pela simpatia de sempre.

Meu último agradecimento é o mais importante. É reservado Àquele que me deu determinação, força e sabedoria necessárias para enfrentar essa jornada que, por hora, encerro. Sei que haverá outras, e tenho certeza que Ele cuidará de me dar sempre o suporte necessário, desde que eu faça a minha parte. Agradeço pelas oportunidades que tem me dado, pelo que tem me ensinado e pelas experiências que tem me permitido vivenciar. Onipresente que é, sempre esteve comigo, desde a reza intencionada da minha mãe ao raiar do dia, ao meu encostar no travesseiro às tantas da madrugada. A Ele, agradeço por ter cuidado da minha família, durante minha ausência nesses últimos anos, pois, depois de minha vida, é o bem mais precioso que tenho.

A todos, meus genuínos agradecimentos.

ANEXO 1: DADOS DOS MOTORES INSTALADOS NAS EEABS.

Unidade Operacional	Dados dos CMBs				
	Nº do CMB	Potência (cv)	Situação de Funcionamento	Tipo de motor	Tipo de Partida
EEAB 01	01	100	Operante	Externo	Partida Compensada
	02	100	Operante	Externo	Partida Compensada
	03	100	Operante	Externo	Partida Compensada
	04	100	Reserva	Externo	Partida Compensada
EEAB 02	01	500	Operante	Externo	Inversor de Frequência
	02	500	Operante	Externo	Inversor de Frequência
	03	500	Operante	Externo	Soft-Starter
	04	500	Reserva	Externo	Soft-Starter
EEAB 03	01	500	Operante	Externo	Partida Compensada
	03	500	Operante	Externo	Partida Compensada
	04	450	Operante	Externo	Partida Compensada

ANEXO 2: HISTÓRICO DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA E VOLUMES BOMBEADOS DAS EEABS 01, 02, 03 E 05 REFERENTES AO ANO DE 2022.

Consumo de Energia Elétrica (kWh) e Volumes Bombeados (m³) – Sistema Adutor do Sertão								
Data de Referência (2022)	EEAB 05		EEAB 01		EEAB 02		EEAB 03	
	Volume Bombeado (m³)	Consumo de Energia (kWh)	Volume Bombeado (m³)	Consumo de Energia (kWh)	Volume Bombeado (m³)	Consumo de Energia (Kwh)	Volume Bombeado (m³)	Consumo de Energia (Kwh)
jan			700.867,80	190.682,35	700.867,80	944.594,64	468.383,32	581.088,24
fev	133.186,68	70.014,84	488.121,30	161.728,63	621.307,98	815.313,60	349.452,09	520.134,48
mar	143.185,68	63.792,35	564.444,86	122.821,34	707.630,54	654.791,04	389.026,46	416.946,96
abr	30.996,90	69.476,59	743.286,28	139.772,52	774.283,18	705.101,76	372.961,14	422.779,68
mai			819.053,14	168.437,30	819.053,14	686.342,88	416.068,90	410.825,52
jun			782.839,73	182.029,39	782.839,73	715.926,96	385.855,15	436.960,80
jul			820.863,76	173.918,74	820.863,76	686.586,24	368.741,20	425.918,16
ago			797.127,05	183.344,62	797.127,05	683.070,48	391.669,00	406.768,32
set			817.494,77	180.430,34	817.494,77	702.049,68	400.579,64	414.107,28
out			858.452,90	186.817,10	858.452,90	694.527,84	439.206,44	409.075,92
nov			885.739,18	192.715,70	885.739,18	723.096,72	425.107,34	451.099,44
dez			937.647,11	194.280,26	937.647,11	707.437,44	441.643,37	452.401,20
Total	307.369,26	203.283,78	9.215.937,86	2.076.978,29	9.523.307,12	8.718.839,28	4.848.694,04	5.348.106,00

Nota: As pressões na saída das EEABs foram baseadas no histórico de medições pitométricas:

EEAB 01: 22 mca

EEAB 02: 151 mca

EEAB 03: 152 mca

