



**Universidade de Brasília - UnB
Faculdade UnB Gama - FGA
Curso de Engenharia de Energia**

**Revisão energética da estação elevatória de água tratada
do sistema de abastecimento de água do Distrito Federal.
Estudo de caso CAESB.**

**Autor: Vitor Rodrigues Rossi
Orientadora: Maria Del Pilar Hidalgo Falla**

**Brasília, DF
2021**



VITOR RODRIGUES ROSSI

**REVISÃO ENERGÉTICA DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA TRATADA DO
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO DISTRITO FEDERAL.
ESTUDO DE CASO CAESB.**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia de Energia da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia.

Orientadora: Dra. Maria Del Pilar Hidalgo Falla

**Brasília, DF
2021**

CIP – Catalogação Internacional da Publicação*

Rossi, Vitor.

Revisão energética da estação elevatória de água tratada do sistema de abastecimento de água do Distrito Federal. Estudo de caso CAESB/ Vitor Rodrigues Rossi (em ordem normal). Brasília: UnB, 2021. 66 p.: il. ; 29,5 cm.

Monografia (Graduação) – Universidade de Brasília
Faculdade do Gama, Brasília, 2021. Orientação: Dra. Maria Del Pilar Hidalgo.

1 Energia. 2 Eficiência. 3. Diagnóstico. 4. Bombeamento

CDU Classificação



**REVISÃO ENERGÉTICA DA ESTAÇÃO ELEVATÓRIA DE ÁGUA TRATADA DO
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DO DISTRITO FEDERAL.
ESTUDO DE CASO CAESB**

Vitor Rodrigues Rossi

Monografia submetida como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energia da Faculdade UnB Gama - FGA, da Universidade de Brasília, em 20/05/2021 apresentada e aprovada pela banca examinadora abaixo assinada:

Prof. Dra: Maria Del Pilar Hidalgo Falla, UnB/ FGA
Orientadora

Prof. Dr: Flávio Henrique Silva, UnB/ FGA
Membro Convidado

Engenheira: Sandra Andréa Medeiros Leitão, CAESB-DF
Membro Convidado

Engenheiro: Humberto Belina Adamatti, CAESB-DF
Membro Convidado

Brasília, DF
2021

RESUMO

A eficiência energética é a busca pelo uso otimizado de uma fonte energética, onde são aplicados processos que garantem a necessidade mínima de energia para um sistema operar com o mínimo de perdas. Baseado na norma de diagnósticos energéticos ABNT NBR ISO 50.002 e literaturas correlatas, o presente trabalho faz a análise das oportunidades de redução do gasto com energia elétrica da estação elevatória de água tratada localizada no Distrito Federal, pertencente ao sistema de abastecimento de água operado pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – CAESB. Com o conceito de eficiência energética, buscou-se investigar possíveis pontos passíveis de redução no consumo de energia elétrica para alcançar reduções no gasto. A unidade avaliada possui o conjunto motor e bomba (CMB) como principal consumidor de energia elétrica, seguido pelos agrupados como “outros”, os eletrônicos não associados aos CMBs e que apresentam baixo consumo relativo. O trabalho foi dividido em duas etapas. A primeira foi a escolha de uma unidade de bombeamento que não apresenta bom indicador de eficiência energética desenvolvido pela *International Water Association – IWA*, chamado de Ph_5 . A segunda foi a vistoria da unidade e das documentações como projetos elétricos, faturas de energia, dados de medição; baseando-se nas recomendações da ABNT NBR ISSO 50.002. A unidade é tarifada na modalidade Tarifa Horo-Sazonal Verde do subgrupo A4, definidas pela ANEEL. Foi feita a simulação e comprovado que esta é a melhor opção de tarifa. Não foi identificada ultrapassagem de demanda contratada e apenas um mês que excedeu o valor de energia reativa, permitida no período dos 12 meses de 2020. Foi estimado que o bombeamento da unidade trabalhou com 43% de rendimento no período de análise. Segundo dados da CAESB de 2018 houve operação com 62%, sendo que o potencial de economia calculado se baseou na diferença dessas duas porcentagens. Chegou-se à conclusão que investimentos de R\$200.000,00, para alcançar 62% de eficiência de bombeamento, tem um tempo de retorno de aproximadamente 12 meses.

Palavras-chave: Energia, Eficiência, Diagnóstico, Água, Abastecimento, Bombeamento, Sustentabilidade.

ABSTRACT

Energy efficiency is the search for the optimal use of an energy source, where processes are applied that ensure the minimum energy requirement for a system operation with minimal losses. Based in the energy diagnostics standard ABNT NBR ISO 50.002 and related literature, this paper analyzes the opportunities for reducing the energy consumption of the treated water pumping station located in *Distrito Federal* (DF), which belongs to the water supply system operated by the *Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal* (CAESB). Using the concept of energy efficiency, it sought to investigate possible points of reduction in the consumption of electricity to achieve reductions in spending. The evaluated unit has the motor and pump set (CMB) as the mains consumer of electricity, followed by those grouped as “others”, the electronics not associated with the CMB’s and that present low relative consumption. The work was divided into two stages. The first was the choice of pumping unit that does not present a food energy efficiency indicator developed by the international Water Association – IWA, called Ph5. The second part was the inspection of the unit and the documentation such as electrical projects, energy bills, measurement data; based on the recommendations of ABNT NBR ISO 50.002. The unit is priced in THS-VERDE of A4 subgroup, defined by ANEEL (2021). The simulation was carried out and proved that this is the best tariff option. It was not identified any exceeding of the contracted demand and only one month in which the allowed reactive energy value was exceeded in the 12 months. period of 2020. It was stipulated that the pumping unit worked with 43% efficiency in the analysis period. According to data from 2018 it has already operated at 62%, with the potential savings based on the difference of these two percentages. It was concluded that investments of R\$200,000.00 to achieve 62% pumping efficiency has a payback time of approximately 12 months.

Keywords: Energy, Efficiency, Diagnosis, Water, Supply, Pumping, Sustainability.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	15
FIGURA 2 - DIAGRAMA DE BLOCOS DO TRATAMENTO DE ÁGUA	18
FIGURA 3 - CURVA BOMBA VS. SISTEMA	26
FIGURA 4 - FLUXOGRAMA DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO	31
FIGURA 5 - VISTA AÉREA DA UNIDADE.....	46
FIGURA 6 - TRANSFORMADORES	47
FIGURA 7 - CUBÍCULO DE ENTRADA.....	48
FIGURA 8 - 3 CONJUNTOS MOTOR E BOMBA DA UNIDADE.....	51

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - HISTÓRICO DO CONSUMO DE ENERGIA NO BRASIL.....	11
GRÁFICO 2 - HISTÓRICO DE DEMANDA CONTRATADA	53
GRÁFICO 3 - PONTO DE MIGRAÇÃO DA VERDE PARA AZUL	56

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - RANQUEAMENTO DAS UNIDADES POR CONSUMO EM 2020.....	43
TABELA 2- RANQUEAMENTO DAS UNIDADES MENOS EFICIENTES.	44
TABELA 3 - COMPARAÇÃO COM A MAIOR CONSUMIDORA DE ENERGIA ELÉTRICA.	45
TABELA 4 - CRONOGRAMA DOS TRABALHOS REALIZADOS.....	45
TABELA 5 - DADOS DE PLACA DOS CMB'S.	50
TABELA 6 - MÉDIA THS AZUL E VERDE EM 2020.	53
TABELA 7 - COMPARAÇÃO THS VERDE - AZUL	54
TABELA 8 - VARIAÇÃO DO VALOR DA TARIFA VERDE PARA AZUL	55
TABELA 9 - POTENCIAL DE ECONOMIA A 62% DE RENDIMENTO.	57
TABELA 10 - TEMPO DE RETORNO DOS INVESTIMENTOS EM MESES.....	57
TABELA 11 - RESUMO DAS RECOMENDAÇÕES DE AEE.....	58

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal
AEE	Ação de Eficiência Energética
BMZ	Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento da Alemanha.
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
CCO	Centro de Controle Operacional
CEN	Consumo de Energia Normalizado
CMB	Conjunto Motor e Bomba
EAB	Elevatória de Água Bruta
EAT	Elevatória de Água Tratada
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETA	Estação de Tratamento de Água
EVO	Efficiency Valuation Organization
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
IWA	International Water Association
MDR	Ministério de Desenvolvimento Regional
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PDef	Plano Decenal de Eficiência Energética
PDSB	Plano Distrital de Saneamento Básico
PIMVD	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Desempenho
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
Procel	Programa Nacional de Conservação da Energia Elétrica
ProEESA	Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água
ProPEE	Procedimentos de Projetos de Eficiência Energética
SNIS	Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento
SNS	Secretaria Nacional de Saneamento
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
WWF	World Wide Fund for Nature

SUMÁRIO

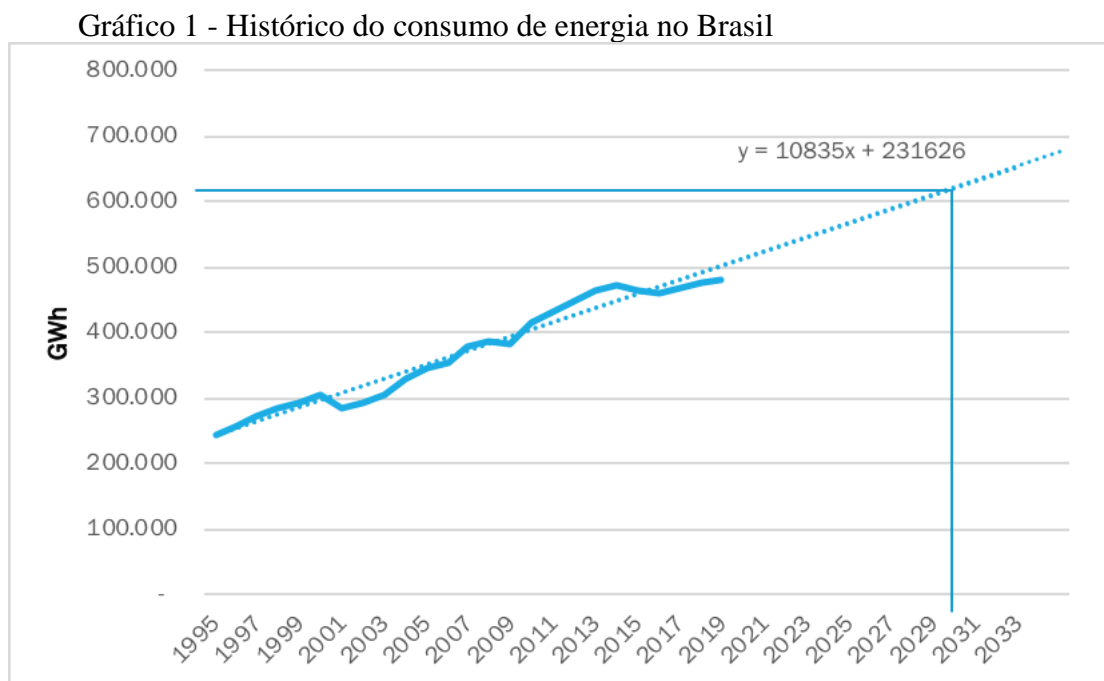
1	INTRODUÇÃO.....	11
1.1	Objetivo.....	12
1.2	Objetivos específicos.....	13
1.3	Estrutura do trabalho.....	13
1.4	Estudo de caso: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - CAESB	13
1.4.1	Estação Elevatória de Água Tratada Mestre D'Armas: EAT.MDA.001	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Abastecimento de água	15
2.1.1	Mananciais	16
2.1.2	Estações de Captação.....	16
2.1.3	Estações Elevatórias e Adutoras de água.....	17
2.1.4	Estações de tratamento de água	17
2.1.5	Reservatórios de água	18
2.1.6	Redes de Distribuição	18
2.2	Estações de Bombeamento.....	19
2.2.1	Altura Geométrica e Manométrica.....	20
2.2.2	Potência e Rendimento	22
2.2.3	Perdas de Energia na Bomba	23
2.2.4	Cavitação.....	24
2.2.5	Curvas características.....	25
2.2.6	Motores elétricos.....	26
2.3	Eficiência Energética.....	28
2.3.1	Eficiência energética no abastecimento de água.....	34
3	METODOLOGIA.....	35
3.1	Pré-diagnóstico energético.....	36
3.2	Diagnóstico Energético	38
3.2.1	Fronteiras do diagnóstico.....	39
3.3	Elementos a serem analisados.....	39
3.3.1	Levantamento do Diagrama eletro-hidráulico da unidade.....	39
3.3.2	Levantamento das contas de energia elétrica da unidade	39
3.3.3	Diagrama unifilar da instalação elétrica	40
3.3.4	Levantamento do cadastro de equipamentos da unidade consumidora	40
3.3.5	Levantamento dos recursos auxiliares de gestão	40
3.3.6	Levantamento dos Procedimentos de Operação e Manutenção.....	41
3.3.7	Medições em campo	41
3.3.8	Estimativa de custo e benefício das AEE's.....	42
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
4.1	Pré-diagnóstico.....	42
4.2	Diagnóstico Energético	45
4.2.1	Fronteiras do Diagnóstico	46
4.2.2	Análise da unidade EAT.MDA.001	47
4.2.3	Análise das faturas de energia.....	52
4.2.4	Análise do histórico de demanda contratada	53
4.2.5	Adequação da tarifa contratada.....	54

4.2.6	Análise do fator de potência	56
4.2.7	Análise do potencial financeiro de economia.	56
5	CONCLUSÃO.....	58
	REFERÊNCIAS.....	60
	ANEXO I - Fluxograma do Pré-Diagnóstico	63
	ANEXO III - A – Simulação Enquadramento tarifário VERDE.	64
	ANEXO III - B – Simulação Enquadramento tarifário AZUL.	65
	ANEXO III - C – Pontos em comum aplicados nas duas simulações.....	66

1 INTRODUÇÃO

A demanda por energia elétrica da humanidade tem sido crescente e tende a permanecer assim. Como a matéria prima para geração de energia elétrica são os recursos naturais espalhados pelo planeta, o aumento crescente na demanda deve ser observado e otimizado sempre que possível, para que não falte matéria prima para a produção de energia elétrica e colaborar para minimizar as intervenções humanas nos recursos naturais não renováveis.

O controle do consumo de energia elétrica está ligado a ações que levam ao desenvolvimento sustentável da sociedade, que segundo a Word Wide Fund for Nature Brasil, é o desenvolvimento que não esgota recursos para o futuro. O gráfico a seguir traz o histórico anual do consumo de energia elétrica do Brasil, com registros dos anos 1995 até 2019, publicado pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE.



Fonte: EPE. Elaboração própria.

É possível notar o constante crescimento do consumo de energia elétrica. Em 2019 foram consumidos 482,2TWh de energia. Conforme a fórmula da projeção linear feita com os dados históricos, se forem mantidos os ritmos de crescimento do consumo, em 2030 o Brasil terá um consumo de aproximadamente 610TWh.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (BRASIL, 2020), também em 2019, as empresas de saneamento do Brasil gastaram 7,2 bilhões de reais com energia elétrica na prestação de seus serviços e consumiram 11,84TWh em seus sistemas

de abastecimento de água (BRASIL, 2020). Em 2016, o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento - SNIS, registrou valores de 5,41 bilhões de reais e consumo 10,6TWh nos sistemas de abastecimento de água, caracterizando o aumento no consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento (BRASIL, 2018).

Conforme o Caderno Temático 01 Perdas de Água e Eficiência Energética elaborado pela Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) a serviço do Ministério da Cooperação da Alemanha - BMZ e pelo Ministério das Cidades, no âmbito do Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água (ProEESA), a projeção para o consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água, no Brasil, para 2033 é de 14,7TWh se nenhuma meta de eficiência considerada no caderno for atingida.

O Plano Decenal de Expansão da Energia 2026 prevê a conservação de 5% do consumo projetado para 2026 para o setor de serviços, o que reduziria o consumo final em aproximadamente 10TWh. Desse montante a ser economizado, o setor de abastecimento de água tem capacidade para contribuir com cerca de 3 a 4 TWh de economia (BRASIL, 2017).

De acordo com Tsutiya (2006), existem 4 áreas de oportunidades para melhorias da eficiência em sistemas de abastecimento de água: o uso racional de água no consumidor; a configuração e operação do sistema; a otimização da eficiência eletromecânica de bombas e motores; e a redução de perdas de água na distribuição de água para os usuários finais. A atividade, ou o conjunto delas, concebida para aumentar a eficiência energética de uma instalação, processo ou equipamento é chamada de Ação de Eficiência Energética (AEE) (EVO, 2012)

O presente trabalho limitará as análises de eficiência energética nas áreas de operação e configuração do sistema e otimização da eficiência elétrica e mecânica de bombas e motores, produzindo um diagnóstico energético de uma das unidades operacionais de abastecimento de água da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

1.1 Objetivo

O objetivo deste trabalho é analisar o desempenho energético de uma unidade do sistema de abastecimento de água operada pela CAESB e identificar o potencial de eficiência energética dessa unidade, utilizando a norma “ABNT ISO 50.002: Diagnóstico Energético” e literaturas correlatas, para propor ações que possam reduzir o gasto com energia elétrica. Conforme será apresentado na metodologia, a escolha da unidade que sofrerá análise será baseada nas unidades que possuem os piores valores do indicador de Consumo de Energia Normalizado (CEN); ou também chamado pela *International Water Association* (IWA) de Ph5.

1.2 Objetivos específicos

- Analisar as faturas de energia elétrica das unidades que compõem o abastecimento de água da CAESB para elencar os maiores consumidores de energia, os custos faturados dessas unidades e o indicador CEN.
- Avaliar o desempenho energético de uma das unidades da CAESB que possui um dos piores indicadores CEN no sistema de abastecimento de água do Distrito Federal.
- Elencar as possíveis Ações de Eficiência Energética (AEE) que se aplicam ao estudo de caso em questão.
- Quantificar o potencial de redução do custo decorrentes destas ações.

1.3 Estrutura do trabalho

O capítulo 01 traz a introdução com a importância do controle do consumo de energia elétrica no Brasil, os objetivos do trabalho e apresentação da empresa onde serão aplicadas as análises. O capítulo 02 apresenta a fundamentação teórica tratando do abastecimento de água no Brasil e da eficiência energética. No capítulo 03 é demonstrado a metodologia para a escolha da unidade operacional que sofrerá a análise, bem como a metodologia para o diagnóstico energético a ser aplicado na unidade para a proposição das AEE's. O capítulo 04 trata dos resultados e discussões. O Capítulo 5 contém as conclusões e comentários para trabalhos futuros.

1.4 Estudo de caso: Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal - CAESB

Em 8 de abril de 1969, pelo Decreto-Lei nº 524, foi criada a Companhia de Água e Esgotos de Brasília - CAESB. Em 1999, pela Lei 2.416, a CAESB foi renomeada para Companhia de Saneamento do Distrito Federal, que além disso, ampliou o mercado de atuação da empresa, podendo atuar em todo território brasileiro e possibilitando sua abertura de capital social (DF, 1999). Em 2005, pela Lei distrital nº 3.559, a denominação da empresa foi alterada novamente, sendo Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal, ampliando a atuação da organização para outros países, também incluído a possibilidade de prestação de serviços na área de resíduos sólidos (DF, 2005).

A Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal, foi criada em 2004, pela Lei Distrital nº. 3.365. Esta possui a finalidade de regular, controlar, fiscalizar, com poder de polícia, a qualidade e quantidade dos corpos de água, superficiais ou

subterrâneos, fluentes, emergentes, de domínio distrital ou delegados pela união e estados, bem como os serviços de abastecimento de água ou esgotamento sanitário no Distrito Federal (DF, 2004). Em 2006, a CAESB e a ADASA assinaram o contrato de concessão que regula a exploração dos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, com prazo de concessão até 21 de maio de 2032, que foi alterado por um aditivo de contrato em 2009, para 31 de janeiro de 2032. (ADASA, 2017)

A companhia é uma sociedade de economia mista, que pode desenvolver atividades em qualquer área do saneamento ambiental, explorando economicamente, planejando, projetando, executando, ampliando, remodelando, administrando, operando e mantendo os sistemas de abastecimento de água; de coleta, tratamento e disposição final de águas residuais. A empresa tem competência para desapropriar, desocupar, recuperar, isolar, proteger e conservar áreas de preservação de mananciais utilizados ou reservados para fins de abastecimento público, bem como para controlar de ações que geram impactos suas águas (ADASA, 2017).

A CAESB é responsável pelos serviços de abastecimento de água de toda área, urbana e rural do Distrito Federal. O abastecimento de água é composto por cinco sistemas principais, sendo eles: Torto/Santa Maria, Descoberto, Brasilândia, Sobradinho/Planaltina e São Sebastião (ADASA, 2017).

1.4.1 Estação Elevatória de Água Tratada Mestre D'Armas: EAT.MDA.001

A unidade escolhida para análise é uma elevatória de água tratada pertencente ao sistema Sobradinho/Planaltina. É responsável por transportar a água tratada da Estação de Tratamento de Água Pípiripau (ETA.PIP.001) até o Reservatório Apoiado 05 de Sobradinho (RAP.SB1.005). Entre o reservatório de saída e o reservatório de chegada são percorridos 16,68 km de dutos. Para pressurizar esses dutos tem-se instalados três conjuntos motor-bomba (CMB), sendo as bombas da marca KBS, e 3 motores da marca WEG. Apesar da disponibilidade, por questões operacionais, a unidade tem operado apenas com um CMB e outro de reserva. No diagnóstico energético, presente nos resultados deste trabalho serão apresentados mais detalhes da unidade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seção apresenta a composição mais comum do abastecimento de água, tratando das unidades de bombeamento pelo fato de serem os maiores consumidores de energia elétrica do sistema. A eficiência energética será o mecanismo utilizado no trabalho para a proposição de

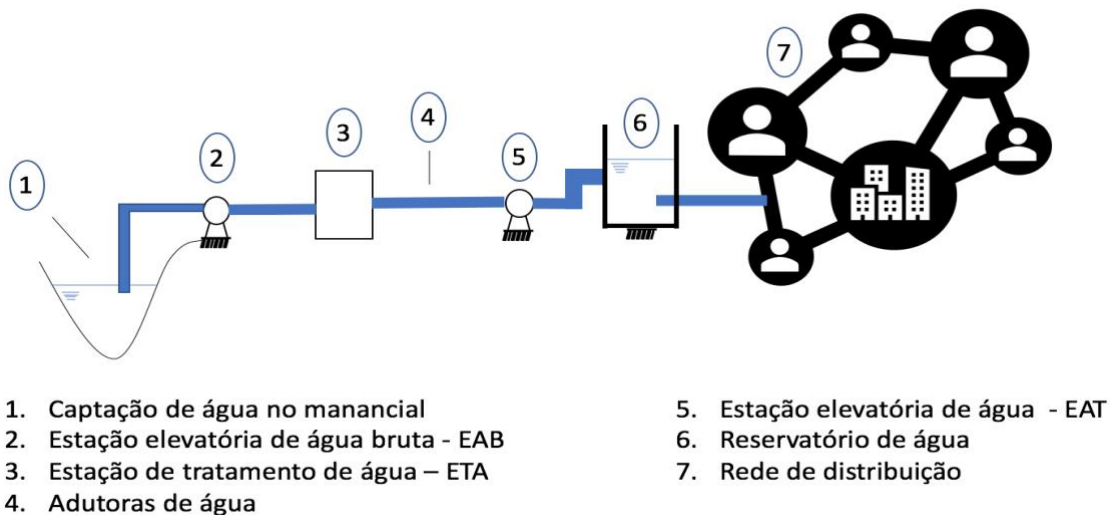
Ações de Eficiência Energética com potencial de redução no consumo de energia elétrica e por consequência no gasto financeiro proveniente desse consumo.

2.1 Abastecimento de água

Os sistemas de abastecimento de água são organizações de obras, tubulações, bombas, motores e demais adentros da engenharia, com o objetivo de distribuir de água potável para consumidor final, seja em zonas rurais ou urbanas. Estes sistemas são compostos de mananciais, estruturas de captação de água, estações elevatórias de bombeamento, adutoras de água, estações de tratamento, reservatórios, redes de distribuição de água e as ligações prediais. (GOMES, 2019)

Para a elaboração de um projeto de abastecimento de água é necessário um estudo sobre o local a ser atendido, para que seja calculada a quantidade de água a ser abastecida. De acordo com a ABNT NBR 12.211, os sistemas de abastecimento devem ser projetados sob pontos de vista qualitativo e quantitativo, e é esta que determina as orientações técnicas para a elaboração dos estudos de concepção dos sistemas de bombeamento de água. A composição mais comum de um sistema de abastecimento é mostrada na figura a seguir.

Figura 1 - Sistema de abastecimento de água



Fonte: Adaptado de GOMES (2019).

2.1.1 Mananciais

Os mananciais são nascentes de grande volume de água. Esses são fonte de água para os sistemas de abastecimento, podendo ser superficiais como os rios, lagos e barragens; ou ser subterrâneos como os aquíferos. Na fase de concepção de projeto desses sistemas, deve-se atentar quanto a qualidade da água bruta, custos de captação, custos de tratamento e transporte requerido; para decidir qual manancial será tomado como fonte (GOMES, 2019).

Proporcionalmente ao crescimento da população do local de projeto, os mananciais vão se tornando incompatíveis, fazendo com que as cidades tenham que buscar fontes de água cada vez mais distantes. Outro fator que também obriga essa busca é a poluição causada nos mananciais próximos aos centros urbanos. Um exemplo disso é a cidade de São Paulo, que possui rios cruzando seu território, mas não são utilizados para consumo, pois a poluição presente neles inviabiliza o processo de tratamento da água para fazê-la potável.

A escassez hídrica, como a que ocorreu em 2017 em Brasília e outras regiões, contribui para que fontes de água, que antes não eram consideradas viáveis, se tornem viáveis, para garantir a segurança do abastecimento. Um exemplo disso é o tratamento de água do mar e o tratamento de esgotos para extrair água para consumo humano.

2.1.2 Estações de Captação

As estações de captação de água realizam a captura da água bruta disposta na natureza. Suas estruturas variam quando a fonte é superficial ou subterrânea. A captação superficial é a retirada de um volume de água de um corpo hídrico, que qualquer usuário pode fazer desde que tenha outorga para tanto. E a captação subterrânea é a retirada de água contida no lençol freático por meio de poços (ADASA, 2017).

Em ambas as situações, a água é sugada por bombas hidráulicas associadas a motores elétricos, chamados de conjunto motobomba, motor e bomba ou CMB. Quando a captação ocorre em uma cota altimétrica maior que a cota onde ocorrerá o tratamento, essa água é transportada por gravidade. Na situação inversa, se faz necessário uma estação elevatória de água bruta, que consiste em CMB's e adutoras para transportar esse volume captado.

2.1.3 Estações Elevatórias e Adutoras de água

As estações elevatórias e as adutoras são responsáveis pelo transporte de água dentro do sistema de abastecimento, desde o manancial até a rede de distribuição. Este transporte ocorre por gravidade, por bombeamento pelos CMB's ou pelas duas opções juntas (TISUTIYA, 2006).

As tubulações envolvidas neste transporte são chamadas de adutoras, que são conjuntos de encanamentos, peças especiais e obras destinadas ao deslocamento de volumes de água entre as unidades que compõem o sistema. As adutoras se diferem das redes de distribuição pelo maior diâmetro e pela não ocorrência de ligações domiciliares (ADASA, 2017).

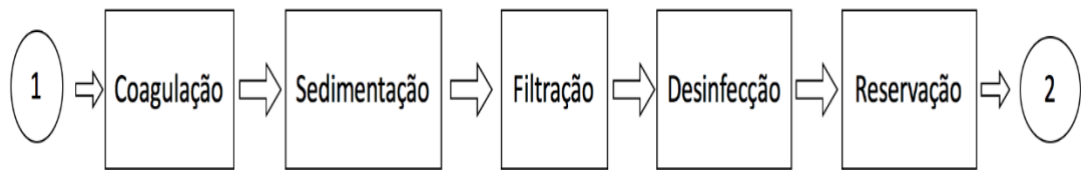
Os sistemas por gravidade são aplicados quando ocorre um desnível suficiente entre os mananciais e os pontos de consumo. A vantagem desse tipo de deslocamento é não usar energia elétrica, tornando-o mais barato. Em casos contrários, se faz necessário o uso de equipamentos para pressurizar a água e encaminhá-la para a próxima etapa do sistema de abastecimento. Outra situação, em que é preciso pressurizar as linhas de adução, é quando a distância entre uma etapa do abastecimento e outra é muito grande, sendo ineficaz o uso da gravidade mesmo se a cota da etapa anterior for maior.

Devido ao número de CMB's aplicados e ao volume de água deslocado, as estações elevatórias, ou estações de bombeamento representam o maior consumo de energia elétrica dentro do sistema de abastecimento de água (TSUTIYA, 2006). Sendo assim, é provável que a unidade operacional escolhida após o pré-diagnóstico deste trabalho pertencerá ao grupo de unidades de bombeamento da CAESB.

2.1.4 Estações de tratamento de água

O processo de tratamento envolve a eliminação de impurezas e a manutenção de substâncias e propriedades que tornam a água inadequada para consumo. Algumas delas são: bactérias patogênicas, turbidez, cor, odor, sabor, dureza, corrosividade, ferro, manganês e sais minerais. Os processos mais comuns de uma ETA são mostrados no fluxograma a seguir (GOMES, 2019).

Figura 2 - Diagrama de blocos do tratamento de água



1. Chegada de água bruta
2. Saída de água tratada

Fonte: Adaptado de GOMES (2019).

2.1.5 Reservatórios de água

Conforme a ABNT NBR 12217, que trata do projeto de reservatórios de água para serviços públicos, são quatro os tipos de reservatórios nos sistemas de abastecimento de água. Os reservatórios de distribuição são destinados a regularização da variação das vazões entre a chegada da água tratada com a saída da água para as redes de distribuição. Os reservatórios elevados possuem a finalidade de inserir pressão em redes de cotas mais elevadas, que não são atendidas pelo reservatório principal. O reservatório a montante é considerado o reservatório principal da rede. O reservatório a jusante armazena a água para emergências, seja para situações de incêndio, ou para compensar quantidades de água quando ocorre paralização no abastecimento por curtos períodos (ABNT, 1994).

2.1.6 Redes de Distribuição

As redes de distribuição são formadas pelo conjunto tubulações, conexões, válvulas que levam a água até a instalação predial. Sendo a instalação predial a interligação entre as tubulações da rede de distribuição e o interior dos consumidores de energia, composta de um dispositivo de tomada de água da tubulação da rede de distribuição, o hidrômetro e ramal de distribuição para os interiores da edificação.

Conforme disposto na ABNT NBR 12218 (2017), que trata de projetos de redes de distribuição de água, a rede pode ser malhada, ramificada ou mista. A mesma norma recomenda

que para áreas urbanas, as tubulações devem ser implantadas em áreas ou vias públicas, formando circuitos fechados, evitando as pontas de rede e água estagnada. Tubulações secundárias devem ser previstas ao longo das tubulações principais para atendimento das ligações prediais, bem como respeitar as características técnicas dos materiais aplicados, para evitar esforços e assegurar a estanqueidade. Em alguns casos a rede pode ser dupla, quando aspectos de operação, manutenção e econômicos indicarem como a melhor opção ou quando houver exigência na legislação.

2.2 Estações de Bombeamento

As estações de bombeamento, estações elevatórias ou também sistemas de recalque, são responsáveis pela adição de energia nas adutoras de água quando necessário. Esta energia é percebida em forma de energia cinética e pressão, inserida nas linhas adutoras através dos CMB's. Estas unidades operacionais são compostas de bombas hidráulicas, motores, tubulações, casa de máquinas e dispositivos de controle como válvulas, medidores e quadros de comando. Estas são os maiores consumidores de energia elétrica dos sistemas de abastecimento de água, e por isso, foco principal deste trabalho.

Bombas hidráulicas são obras de arte da engenharia capazes de mover líquidos, através de tubulações pressurizadas. Para isso, ocorre a conversão da energia mecânica, fornecida por um motor ao eixo da bomba, em energia hidráulica, fornecida da bomba para o fluido, na forma de pressão e energia cinética. Por essa definição, as bombas são chamadas de máquinas de fluido, que são sistemas trocadores de energia entre um sistema mecânico e um fluido (ALÉ, 2011). A energia mecânica pode ser fornecida por qualquer tipo de equipamento capacitado, porém, devido à alta eficiência, larga faixa de potência para as mais variadas necessidades de projeto, são utilizados motores elétricos (GOMES, 2019).

Segundo Çengel e Cimbala (2007), as máquinas de fluido são divididas em dois grupos. Primeiro, em máquinas volumétricas, ou de deslocamento positivo, onde o fluido é reservado em uma ou mais câmaras, que possuem um elemento móvel em seu interior, provocando a variação de pressão, como em cilindros de motores a combustão. No segundo, estão as máquinas de fluxo, bombas centrífugas ou turbobombas, onde o fluido tem fluxo constante e possuem em sua estrutura um elemento girante, equipado de pás, chamado de rotor, movido por alguma fonte de energia mecânica. Como dito anteriormente, essas fontes de energia são comumente fornecidas por motores elétricos.

As máquinas de fluxo podem ser hidráulicas ou térmicas, sendo que a primeira é caracterizada por não alterar a massa específica do fluido, e a segunda por alterar. As bombas são exemplos de máquinas hidráulicas. Outro tipo de classificação refere-se à direção de conversão da energia. Quando o fluido que passa pela máquina transferir sua energia cinética para esta, a máquina será do tipo motriz, como as turbinas Pelton, Francis e turbinas hidrocinéticas (Bezerra, 2018). Se a máquina é quem fornece energia cinética, pressão ou energia térmica, para o fluido, essa máquina é classificada como geratriz (MAITELLI, 2010), sendo essas as máquinas aplicadas nas estações elevatórias de bombeamento de água dos sistemas de abastecimento.

A bomba centrífuga ou turbobomba, é composta por uma carcaça que abriga um rotor acoplado a um eixo; uma boca de sucção, onde o fluido entra, e boca de saída onde o fluido sai. Ao passar pelo rotor, a água é acelerada, saindo com maior energia cinética, e por consequência com maior pressão. As turbobombas são predominantes nos sistemas de bombeamento de água no saneamento básico, pois além de possuírem ótimos rendimentos, baixos custos de instalação, operação e manutenção, também atendem uma vasta gama de vazão e pressão. (GOMES, 2019). Os rotores dessas bombas podem ser fechados, abertos e semiabertos.

Os rotores fechados possuem suas pás contidas axialmente por um disco circular em um lado e uma coroa no outro lado, formando, a cada duas pás, dutos curvos convergentes e independentes. Estes são usados para fluidos limpos, devido a possibilidade de obstrução desses dutos. Os rotores abertos podem ser aplicados fluidos com partículas em suspensão devido a não possuir disco nem coroa, apenas as pás. O rotor semiaberto é o meio termo entre os dois tipos anteriores, possuindo apenas o disco circular e as pás, sem a coroa, admitindo também partículas em suspensão no fluido de trabalho (GOMES, 2019).

2.2.1 Altura Geométrica e Manométrica

No sistema de abastecimento, as bombas têm o objetivo de incrementar energia no transporte de água afim de vencer os obstáculos impostos pelas características das tubulações, pelas perdas de carga, e do nível topográfico entre cada unidade que compõe o sistema, determinado pela altura geométrica. A energia transferida da bomba ao fluido na forma de energia por peso de fluido bombeado é chamada de altura manométrica que pode ser calculada através da soma das perdas com a altura geométrica conforme a seguir. Existe uma parcela de

energia referente a energia cinética do fluido, porém esta é pequena em relação à energia total, podendo ser desprezada (GOMES, 2019).

$$H = H_g + H_{pd} \quad (1)$$

Onde:

- H é a altura manométrica média verificada no mesmo período (mca).
- H_g é a altura geométrica, dada pela diferença entre a cota de destino e a cota de partida da água (m).
- H_{pd} é a perda de carga presente nas adutoras (m).

A altura geométrica pode ser encontrada pela soma de duas partes, H_{g_a} e H_{g_r} , sendo respectivamente altura geométrica de aspiração e altura geométrica de recalque. A primeira variável é a diferença entre a altura da superfície do reservatório de onde a água vai sair em relação ao eixo do motor. Em casos em que a bomba funciona submersa, ou afogada, esse valor tem sinal negativo. A segunda variável consiste na diferença entre a altura de destino da água em relação ao eixo do rotor da bomba (GOMES, 2019).

As perdas de carga também são divididas em duas, H_{pd_a} e H_{pd_r} , sendo respectivamente perda de carga na aspiração e perda de carga no recalque. Para o cálculo da perda de carga, na aspiração ou no recalque, utiliza-se a fórmula de *Darcy-Weisbach* a seguir:

$$H_{pd} = f \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

Onde:

- L = comprimento da tubulação;
- D = diâmetro interno da tubulação (para condutos forçados);
- f = Fator de atrito de Darcy
- V = velocidade média do escoamento
- g = constante gravitacional.

Sendo a velocidade média igual a $V = Q/A$, onde Q a vazão e A área da seção transversal de escoamento pode-se reescrever a fórmula da altura manométrica da em função da vazão da seguinte forma:

$$H = H_g + k \times Q^2 \quad (3)$$

Onde:

- H = altura manométrica (mca);
- H_g = altura geométrica (m);
- k = agrupamento dos fatores de perda de carga;
- Q = vazão (m^3/s);

A constante k representa valores associados a aspectos construtivos do sistema, podendo ser adotados como constante durante o funcionamento das bombas. Essa equação possibilita plotar a curva do sistema que é utilizada para a definição das características do sistema a ser analisado (GOMES, 2019).

2.2.2 Potência e Rendimento

Como a altura manométrica é a quantidade de energia transmitida da bomba para cada unidade de peso do fluido, para obter a potência hidráulica deve-se multiplicar pela vazão gravimétrica conforme a seguir:

$$P_{hid} = \gamma \times Q \times H \quad (4)$$

Onde:

- P_{hid} = potência hidráulica útil (W)
- γ = peso específico do fluido (N/m^3)
- Q = vazão (m^3/s);
- H = altura manométrica (m).

Para que a bomba forneça potência para o líquido, ela precisa receber do motor elétrico uma potência mecânica, P_m . Pelo princípio da conservação de energia, primeira lei da termodinâmica, a energia não pode ser criada, apenas transformada, e todo processo de transformação energética que não seja ideal é passível de perdas de energia. Essas perdas podem ser expressas através do conceito de rendimento (η) (Çengel et. al., 2006), que representa, em percentual, o quanto de energia recebida pela bomba é capaz de ser transmitida para o fluido. Assim, a potência P_m fornecida pelo motor deve ser maior que a P_{hid} .

O rendimento, ou eficiência, de qualquer máquina pode ser calculado pela divisão da energia produzida pela energia consumida. Para o rendimento da bomba, tem-se P_{hid}/P_m , conforme a seguir:

$$\eta_b = \frac{P_{hid}}{P_m} = \frac{\gamma \times Q \times H}{P_m} \quad (5)$$

Para o motor elétrico a energia consumida é a potência elétrica P , e a energia produzida é a potência mecânica P_m . O rendimento, η_{me} , pode ser calculado pela seguinte equação:

$$\eta_{me} = \frac{P_m}{P_e} \quad (6)$$

O rendimento global da associação do motor elétrico com a bomba (CMB) pode ser calculado pela multiplicação entre o rendimento do motor pelo rendimento da bomba conforme a seguir:

$$\eta_{global} = \eta_b \times \eta_{me} = \frac{P_{hid}}{P_m} \times \frac{P_m}{P_e} = \frac{\gamma \times Q \times H}{P_e} \quad (7)$$

A potência elétrica, em kW, requerida pelo motor pode ser calculada pela seguinte fórmula prática:

$$P_e = \frac{\gamma \times Q \times H}{\eta} \quad (8)$$

Onde:

- Q = Vazão (m^3/s);
- H = Altura manométrica (mca);
- η = rendimento global do CMB.

2.2.3 Perdas de Energia na Bomba

As perdas de energia presentes nas bombas podem ser classificadas como internas ou externas. As perdas externas, ou mecânicas, estão relacionadas ao atrito sofrido pelos mancais e elementos de vedação, fazendo com que parte da energia mecânica não chegue até as pás do rotor. As perdas internas, ou hidráulicas, são diretamente associadas ao fluido de trabalho e são divididas em volumétricas ou hidráulicas (SCHWARZ, 2020).

As perdas volumétricas são divididas em perdas por fugas de vazão através do eixo da bomba e perdas por recirculação. A primeira ocorre pela fuga do fluido de trabalho na folga existente entre a parte fixa e a parte rotativa do eixo do rotor. A segunda ocorre na folga entre a voluta e o rotor, onde existe a recirculação do fluido, que sai da zona de alta pressão da máquina e volta para a entrada onde a pressão é menor; dessa maneira ocorre uma perda na energia que esse fluido possuía. As perdas hidráulicas podem ser caracterizadas pelo atrito do fluido com as paredes e choque com as pás do rotor (SCHWARZ, 2020).

2.2.4 Cavitação

É comum perceber o ponto de ebulição da água à uma temperatura de 100 °C graus quando no preparo de alimentos. Porém só ocorre nessa temperatura devido a pressão atmosférica de 1 atm. Em sistemas de bombeamento, quando na aspiração do fluido, as pressões são inferiores a pressão atmosférica, sendo propício para a ebulição da água em temperaturas menores, próximas a ambiente (GOMES, 2019).

O fato de a diferença de pressão na entrada do bombeamento ser menor que na saída é fundamental para que haja o transporte do fluido de um ponto a outro, porém deve se limitar a pressão de entrada de modo a controlar a mudança de fase do líquido, pois a ocorrência de vapores chocando-se com as pás da bomba causam danos físicos e perdas de energia.

Segundo Alé (2011), a cavitação trata-se da vaporização do fluido quando a pressão absoluta do escoamento se iguala a pressão de vapor a uma dada temperatura. Esse fenômeno provoca corrosão, remoção de pedaços do rotor, trepidações além de afetar o rendimento do bombeamento.

Para evitar a cavitação, a energia na entrada da bomba deve ser maior que a energia de vaporização do fluido (ALÉ, 2011). A energia do sistema disponível na entrada da bomba é conhecida como *Net Positive Suction Head* (NPSH), e corresponde a altura positiva de aspiração. É obtida pela aplicação da equação de energia entre a superfície do local de aspiração do fluido e a entrada da bomba.

$$NPSH_{disp} = \left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} \right) - \frac{p_v}{\gamma} \quad (9)$$

Onde:

- $\frac{p_1}{\gamma}$ = Pressão na entrada da bomba
- $\frac{v_1^2}{2g}$ = Energia cinética
- $\frac{p_v}{\gamma}$ = Pressão de vaporização

O $NPSH_{disp}$ representa uma característica do sistema, e deve ser maior que o NPSH requerido pela bomba para que não haja cavitação no interior da bomba. O NPSH das bombas é fornecido pelo fabricante juntamente com outras características.

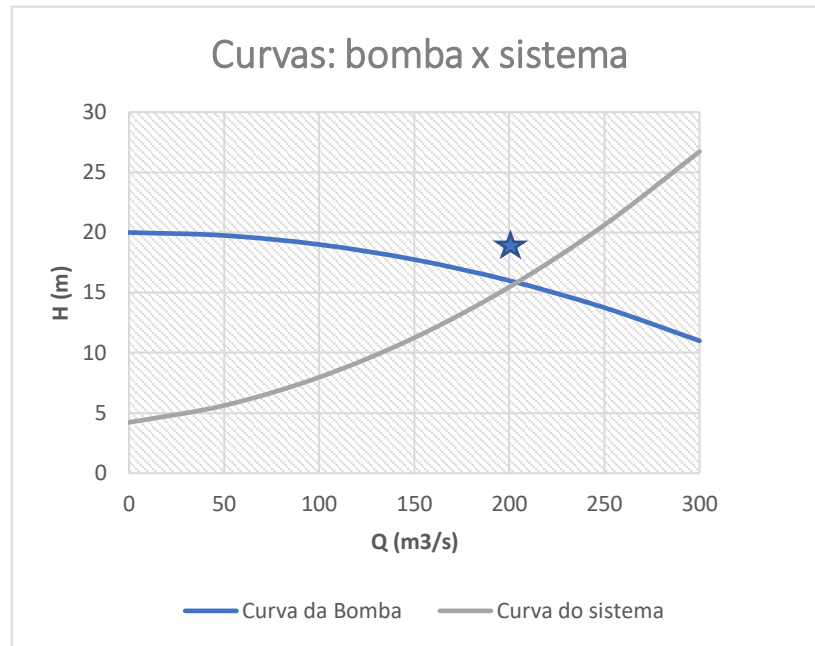
2.2.5 Curvas características

As bombas podem ser caracterizadas por curvas gráficas, que expressam a relação entre duas grandezas associadas representando o funcionamento da bomba. A principal curva característica é a correspondência entre a altura manométrica e a vazão, conforme o equacionamento 3 mostrado anteriormente.

Outras grandezas como diâmetro do rotor, velocidade de rotação, potência mecânica e rendimento podem gerar outras curvas características e servir de complemento na descrição de uma bomba. Essas curvas são fornecidas pelos fabricantes das bombas, que definem essas curvas por meio de ensaios laboratoriais e as dispõe em tabelas (GOMES, 2019).

Cada bomba possui um ponto máximo de eficiência, que é o ponto no gráfico onde o valor de uma altura manométrica corresponde a uma determinada vazão, é esperado que nesse ponto a bomba opere com maior valor de rendimento possível, convertendo a maior parte da potência mecânica recebida em potência útil para o fluido. A máquina deve operar com seu ponto de trabalho mais próximo do ponto de máximo de eficiência.

Figura 3 - Curva bomba vs. sistema



Fonte: Autor.

O ponto de trabalho da bomba é definido pelo encontro da curva do sistema com a curva da bomba conforme mostrado na figura 3. As principais curvas características são carga pela vazão, potência absorvida pela bomba e vazão, e o rendimento pela vazão. A comparação dessas curvas com dados do sistema são o principal meio de verificação da operação recomendada para cada tipo de bomba. (ELETROBRÁS, 2005)

2.2.6 Motores elétricos

Os motores elétricos são os responsáveis por introduzir energia mecânica nas bombas hidráulicas. Segundo Tsutiya (2006), são escolhidos por possuírem altos valores de rendimento e vasta gama de opções para as mais variadas necessidades de bombeamento. Esses motores são divididos em motores de corrente alternada e motores de corrente contínua.

Os motores de corrente contínua possuem a facilidade de variar sua velocidade de rotação, e seriam bem aplicados nos sistemas de bombeamento. Porém, devido ao fornecimento de energia ser feito em corrente alternada, o uso de motores de corrente contínua faz necessário equipamentos de retificação do sinal vindo da rede de distribuição. Por este fato é mais comum o uso de motores de corrente alternada. (TSUTIYA, 2006)

Os motores de corrente alternada, ou motores de indução, são os motores mais utilizados nas indústrias por ser uma máquina robusta, de baixo custo de produção e variedade de

aplicações. Esses são formados de um estator, um rotor e outras partes como ventiladores, rolamentos e ligações. (TSUTIYA, 2006a).

Nesse tipo de motor, a velocidade de rotação síncrona (N_{si}) é função da frequência da rede de distribuição (f), que no Brasil é 60 Hz, e do número de polos do motor (p) conforme na equação a seguir:

$$N_{si} = \frac{120 \times f}{p} \quad (10)$$

Os motores de indução podem ser divididos em síncronos e assíncronos. O primeiro gira em uma velocidade constante síncrona. O segundo possui certo escorregamento (s) e operam em velocidades um pouco inferiores, sendo a velocidade assíncrona (N). Esse escorregamento pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$s = \frac{N_{si} - N}{N_{si}} \quad (11)$$

Substituída a equação do escorregamento na equação da velocidade síncrona, podemos calcular a velocidade de rotação assíncrona da seguinte maneira:

$$N = \frac{120 \times f}{p} \times (1 - s) \quad (12)$$

Conforme mostrado na figura acima, a variação da velocidade nos motores de indução é função da frequência e do número de polos do motor. Visto que o número de polos é um aspecto construtivo, portanto constante, pode-se dizer que se variarmos a frequência ocorrerá uma variação na velocidade de rotação. Ao alterar a velocidade de rotação do motor, a vazão da bomba acoplada em seu eixo também irá aumentar. Assim, utiliza-se o controle de frequência do motor para aumentar ou diminuir a vazão da bomba, atendendo as necessidades operacionais das estações de bombeamento.

Existem várias opções para alterar a vazão dos sistemas de bombeamento, entre elas são as válvulas redutoras de pressão, válvulas de manobras e variadores de velocidade de rotação. As duas primeiras opções se caracterizam por possuírem perdas volumétricas e perdas de carga respectivamente, sendo a variação da velocidade de rotação a melhor alternativa para controlar o sistema. Porém, nem sempre vai ser viável técnica e economicamente, necessitando de estudos para cada caso aplicado (GOMES, 2019).

Conforme um grande fabricante de motores de indução do Brasil, WEG, o método mais eficiente para variar a velocidade de rotação do motor é a utilização de um inversor de

frequência. Eles transformam a tensão da rede na amplitude e frequência desejada, variando a velocidade o campo girante, e por consequência a velocidade de rotação da máquina (WEG, 2012).

2.3 Eficiência Energética

Eficiência energética é um caminho para o desenvolvimento técnico, econômico, ambiental e social do país, favorecendo para o uso racional dos recursos naturais e para segurança energética (ELETROBRÁS, 2020).

Os altos custos para a geração de energia elétrica e o aumento crescente desse custo devido as mudanças climáticas têm contribuído para que os instrumentos de gestão de energia elétrica sejam cada vez mais requisitados para os grandes consumidores. A adoção de medidas de eficiência no consumo de energia é uma ferramenta importante para a manutenção da demanda energética nacional, contribuído para maior segurança do suprimento energético no Brasil, não só da energia elétrica como de outras formas de energia, como a proveniente de combustíveis fósseis. Para este trabalho, o foco será dado na energia elétrica.

Para que essas medidas sejam adotadas de forma padronizada e eficaz, foram criados mecanismos sistemáticos de acompanhamento das AEE's. Essa padronização é importante para que políticas públicas, mecanismos de incentivo e financiamento para essas práticas possam ser criados.

Um dos mais populares instrumentos utilizados para a prática padronizada de eficiência energética e uso racional de recursos naturais são os Sistemas de Gestão de Energia. No Brasil, em 2011, foi publicada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, a série de normas 50.000 que trata do desempenho energético de consumidores de qualquer tipo de energia, sejam indústrias, residências ou comércio, abordando o uso e a fonte de energia consumida. Essa série é de autoria original da *ISO Technical Committee 242 – Energy Management*. Conforme a ABNT NBR ISO 50.000 (2011), a série consiste no conjunto de fundamentos relacionados e interativos para a concepção de um programa energético, objetivos e métodos para redução do consumo de energia elétrica e aumentando a eficiência desse consumo. (PINTO, 2014)

Sistemas de gestão de energia são fortemente utilizados por indústrias que consomem elevado nível de energia, seja em forma de energia elétrica ou demais tipos, como combustíveis fósseis, água e outros. Na indústria de Saneamento Ambiental, a preocupação com eficiência

energética do consumo se faz importante tanto pela energia elétrica quanto ao consumo de água, que é um dos produtos fim desse setor. Para este trabalho o foco será dado na energia elétrica, porém, dentro do saneamento ambiental existe uma relação de interdependência entre o consumo de energia e a produção de água tratada, onde ao ser eficiente em um, favorece ser eficiente no outro.

Devido a relevância e complexidade do assunto, a série ISO 50.000 é dividida em cinco publicações:

- ABNT NBR ISO 50.001 - A análise de aspectos de avaliação da conformidade de sistemas com pretensão de certificação.
- ABNT NBR ISO 50.002 - Diagnósticos energéticos – Requisitos com orientação para uso;
- ABNT NBR ISO 50.003 - Sistemas de gestão de energia – Requisitos para organismos de auditoria e certificação de sistemas de gestão de energia;
- ABNT NBR ISO 50.004 - Sistemas de gestão de energia – Guia para implementação, manutenção e melhoria de um sistema de gestão de energia;
- ABNT NBR ISO 50.006 - Sistema de gestão de energia – Medição do desempenho energético utilizando linhas de base energética (LBE) e indicadores de desempenho energético (IDE) – Princípios gerais e orientações;
- ABNT NBR ISO 50.015 - Sistemas de gestão de energia – Medição e verificação do desempenho energético das organizações – Princípios gerais e orientações.

As linhas de base do sistema de gestão de energia são fornecidas por políticas energéticas do governo e da organização que vai executar o sistema, identificação de exigências legais, estabelecimento de objetivos e metas, definição de responsabilidades. Para garantir a melhoria contínua desses processos, se faz necessário o monitoramento e avaliação dos impactos gerados, realimentando um ciclo de aprimoramento das decisões tomadas anteriormente.

A implementação de sistemas de gestão de energia permite melhor aproveitamento da energia, do espaço e a utilização otimizada de recursos. Também é possível a integração com outros sistemas de gestão, como ambiental e de segurança, o que fortifica a gestão da organização. Assim, a gestão energética contempla procedimentos sistêmicos e atividades

rotineiras, elaboradas pelo planejamento estratégico da organização, ocasionando redução do consumo de energia. (PINTO, 2014).

Os processos de execução dos sistemas de gestão de energia são estabelecidos pela ISO 50.001, e para o suporte nessa execução, é necessário um Diagnóstico Energético do sistema consumidor em questão. Esse diagnóstico é tratado na ISO 50.002 e é o foco deste trabalho.

O documento Procedimentos de Projetos de Eficiência Energética - PROPEE produzido pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL também trata de aspectos importantes para o diagnóstico energético, servindo de volante para os projetos de eficiência energética financiados pelas distribuidoras de energia em todo território nacional.

Diagnóstico energético é uma análise técnica em um sistema consumidor de energia, e tem como objetivo verificar as oportunidades de melhorias no desempenho desse sistema. Sendo assim, a “ABNT NBR ISO 50.002: Diagnósticos Energéticos” define os requisitos mínimos para a identificação dessas melhorias. A norma pode ser aplicada para todos os tipos de estabelecimentos e organizações, para todas as formas de energia e pode ser objeto de apoio para manutenções energéticas (ABNT, 2014).

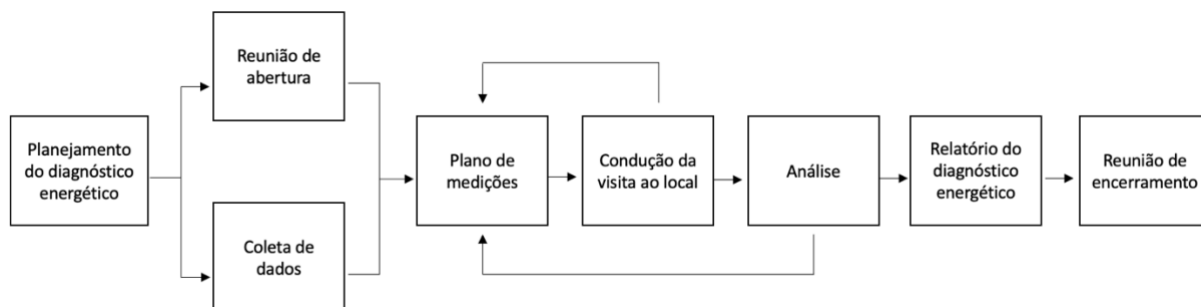
Para que o diagnóstico seja uma ferramenta efetiva e confiável, alguns parâmetros básicos devem ser seguidos por quem vai realizar o diagnóstico. A norma caracteriza o executor como consultor de energia e os parâmetros são baseados na competência técnica do consultor, na confidencialidade dos dados cedidos pela organização analisada, na objetividade das atividades realizadas durante o diagnóstico e no acesso aos equipamentos e instalações conforme descritos a seguir (ABNT, 2014):

- O documento deve possuir escopo, fronteira e objetivos estabelecidos no início do processo;
- As medições e observações devem estar apropriadas ao consumo de energia e possuir linha base padronizada com as análises anteriores e medições futuras;
- Os dados coletados devem presar pela representatividade das atividades e dos processos do sistema;
- Os dados utilizados para quantificar o desempenho energético e identificar as oportunidades devem ser consistentes e únicos;
- O processo de coleta, validação e análise devem ser rastreáveis;

- O relatório do diagnóstico energético deve ter recomendações de melhorias no desempenho energético baseadas em análise técnica e econômica;

O processo de diagnóstico energético é composto das etapas mostradas no fluxograma a seguir, adaptado da ABNT NBR ISO 50.002:

Figura 4 - Fluxograma Diagnóstico Energético



Fonte: Adaptado de ABNT (2014)

O Planejamento do diagnóstico energético é essencial para a definição do escopo do diagnóstico e seus objetivos, reunindo também informações preliminares da organização. Deve existir um contrato entre o consultor e o representante da organização contratante quanto ao escopo, e as necessidades e expectativas de objetivos a serem alcançados (ABNT, 2014).

A Reunião de Abertura tem o propósito de o consultor de energia informar os objetivos, escopo, fronteiras e métodos definidos, tipificar informações operacionais necessárias e reforçar instruções para a execução do diagnóstico no local. Quando o consultor não for uma pessoa só, deve ser nomeado um membro como líder da equipe (ABNT, 2014).

A norma caracteriza alguns tipos de dados que podem ser coletados, respeitando as recomendações feitas anteriormente, como representatividade e rastreabilidade. Dados como lista de sistemas, processos e equipamentos consumidores de energia contribuem para o conhecimento geral do que está sendo analisado, e se tome os devidos rumos de análise. Outros que auxiliam as investigações são os históricos de análises, com estes é possível priorizar certas decisões identificadas anteriormente, bem como acompanhar a evolução da eficiência, com dados de desempenho energético passados e atuais.

É fundamental que as características detalhadas do uso da energia em processos da organização sejam coletadas. No caso de sistemas de abastecimento de água, é comum que seja recomendado o acionamento dos CMB's em horários que a energia elétrica é mais barata, sendo um exemplo de aplicação do uso desses tipos de dados (GOMES, 2019). A confecção de

diagnósticos energéticos com dados precisos, ou o mais próximo disso possível, contribui para que planos futuros não afetem o desempenho energético como espaços, alterações, operações ou manutenções (ABNT, 2014).

A NBR ISO 50.002 recomenda a conferência das faturas de energia das unidades. Com elas é possível identificar o consumo geral na unidade, a média desse consumo, informações sobre impostos, dados da qualidade da entrega da energia pela distribuidora, e obviamente o custo da energia consumida. Também a partir das contas de energia é possível fazer um estudo de enquadramento tarifário e identificar a maneira mais econômica de se comprar energia, seja da distribuidora local ou adesão ao mercado livre.

O plano de medição deve ser fruto de um acordo entre o consultor e o representante da organização contratante. Este pode ser revisto durante a execução do diagnóstico, conforme mostrado no fluxograma. Os principais itens, definidos pela NBR ISO 50.002, que devem ser incluídos no plano de medição são:

- Listagem dos pontos de medição relevantes, processos associados e equipamentos necessários;
- Exatidão e repetitividade necessárias e de incertezas das medições;
- Frequência de aquisição para cada medição;
- Período adequado para a execução;
- Variáveis relevantes disponibilizados pela organização, como dados de operação.

Para a condução da visita ao local, a norma NBR ISO 50.002 destaca alguns pontos que o consultor deve-se atentar:

- Observar o uso da energia dentro da organização e comparar com o que foi informado anteriormente;
- Avaliar o uso e consumo de energia de acordo com escopo, fronteira e objetivos do diagnóstico e métodos escolhidos.
- Compreender o impacto das rotinas de operação e do comportamento do usuário no desempenho energético.
- Documentar ideias, oportunidades, aprimoramentos tecnológicos ou operacionais que possam levar à melhoria do desempenho energético;

- Assegurar que medições, observando dados passados, são representativas para as práticas operacionais;
- Identificar um ou mais funcionários da organização para prover acesso e agir como guia durante o processo da visita. Preferencialmente, esse funcionário deve ter competência e autoridade para solicitar e executar operações diretas em processos e equipamentos.

Na análise, conforme a norma, o consultor de energia deve avaliar a viabilidade técnica e econômica, e ressaltar quaisquer potenciais impedimentos ao andamento do diagnóstico. Essa etapa pode ser dividida em três fases: análise do desempenho energético atual; Identificação das oportunidades de melhoria; e avaliação das oportunidades de melhoria. As três fases são descritas a seguir (ABNT, 2014):

- Análise do desempenho energético atual: deve conter um detalhamento do consumo de energia, sendo priorizado os consumos de maior relevância. Quando possível, comparar os valores com a teoria ou processos similares, podendo ser de diagnósticos anteriores ou casos fora da organização. Caso existam indicadores, estes devem ser analisados, se não, pode ser proposta a construção de novos indicadores.
- Identificação das oportunidades de melhoria: Pelo notório saber do consultor, devem ser feitas avaliações dos projetos e configurações necessárias para o sistema analisado. A vida útil, condição de operação e nível de manutenção devem ser considerados na escolha das melhorias. Deve-se optar pelas tecnologias de uso da energia mais eficientes do mercado, considerando as melhores práticas.
- Avaliação das oportunidades de melhoria: o impacto de cada melhoria deve ser analisado pelo consultor, considerando a economia de energia durante o período acordado no planejamento ou da vida útil da AEE adotada, bem como a economia financeira e os investimentos necessários. Também devem ser considerados ganhos não energéticos como de produtividade ou de manutenção, mas sempre priorizando as melhorias no desempenho energético.

No relatório do diagnóstico energético, o consultor deve garantir que os requisitos acordados com a contratante tenham sido atendidos, incluindo os métodos e formatos de relatórios. As medições relevantes devem ser apontadas, incluindo detalhes da medição como

frequência, lógica da medição, dificuldades e incertezas. A norma também orienta que o diagnóstico tenha estrutura contendo resumo executivo, contextualizações, detalhes do diagnóstico, oportunidades de melhoria do desempenho energético junto com a análise de cada uma e a conclusão com as devidas recomendações (ANBT, 2014).

2.3.1 Eficiência energética no abastecimento de água

O objetivo principal na eficiência energética no abastecimento de água é entrega do volume água tratada pelo menor consumo de energia elétrica. O investimento em AEE's no saneamento básico pode resultar em vantagens financeiras e ambientais para a sociedade. É comum entre as empresas de abastecimento de água possuírem o gasto com energia elétrica representado como a segunda maior cifra da empresa, sendo menor apenas que o gasto com hora homem. (BRASIL, 2018).

Por meio de uso racional do recurso energético, obtém-se redução de consumo e, portanto, de custos operacionais. O uso de tecnologias mais eficientes aumenta a competitividade industrial, beneficia os consumidores e reduz impactos ambientais. Além disso, os ganhos com eficiência energética garantem maior segurança no atendimento à demanda e dilatam o tempo necessário para novas expansões do setor elétrico (ELETROBRÁS, 2020).

Os sistemas de saneamento básico no mundo consomem cerca de 3% da energia consumida mundialmente, e 90% desse consumo provém das unidades de bombeamento (CARVALHO, 2012). Por este fato que a maior parte das ações de eficiência energética são aplicadas aos conjuntos motor e bomba presentes no sistema.

Por lidar com dois recursos de muita importância para a sociedade a gestão eficiente desses recursos é amplamente discutida pelos mecanismos de planejamento tanto nacionais como internacionais. O Acordo de Paris, de 2015, tratado pela Organização da Nações Unidas - ONU sobre Mudanças Climáticas, possui meta atribuída ao Brasil de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em cerca de 30% até 2030. Entre os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS, da Agenda 2030 da ONU, possuem 4 ODS's diretamente ligadas a água e energia.

O ODS 6 trata da segurança da oferta de água potável e saneamento básico para todos, melhorando a eficiência do uso da água em todos os setores, reduzindo o número de pessoas que sofrem com a escassez de água. O ODS 7 trata de assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos, aumentando a taxa global da eficiência

energética. O ODS 12 dispõe de padrões de produção e consumo sustentáveis, para que em 2030 seja alcançada a gestão sustentável e uso eficiente dos recursos naturais. O ODS 13 destaca a necessidade de tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos até 2030.

O Plano Decenal de Eficiência Energética - PDEf elaborado por meio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - Procel, com participação estratégica da EPE e do Ministério de Minas e Energia - MME, propõe ser um importante balizador para a eficiência energética no saneamento, com indicadores, ações, custos e prazos, visando garantir o uso racional da energia, para o desenvolvimento econômico e o cotidiano de toda a sociedade.

O Plano Nacional de Eficiência Energética - PNEf, no ser capítulo 11, trata da eficiência energética no saneamento, apresentando requisitos energéticos, técnicos, econômicos e operacionais. O documento também aponta os sistemas de bombeamento como os maiores consumidores de energia elétrica na prestação de serviços de saneamento básico. De acordo com o PNEf, é possível diminuir o consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água em cerca de 4,7 bilhões de kWh por ano, apenas com a redução de perdas e o aumento da eficiência energética de bombas e motores. (SPE, 2010).

O Plano Nacional de Saneamento Básico – PLANSAB possui um horizonte de 20 anos, devendo ser o próximo elaborado em 2033. Este contribui para metas como a redução do índice de perdas de água para 2030, além da proposição de medidas para controle do uso da água e da eficiência energética do saneamento. Juntamente com o PLANSAB, foi elaborado uma série de cadernos temáticos, fruto da cooperação técnica entre Brasil e Alemanha, através do Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água – ProEESA; onde o caderno 01 trata das perdas de água e da eficiência energética.

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho divide-se em duas etapas, o Pré-diagnóstico energético, para a escolha da unidade a ser analisada, e o Diagnóstico Energético da unidade escolhida, para a proposição de AEE's, alcançando a redução no gasto com energia elétrica. O fluxograma dos processos da primeira etapa é apresentado no Anexo 01 deste trabalho.

A primeira etapa, é o Pré-diagnóstico, será baseada no documento Manual de Cálculo do Consumo Energético Normalizado e do Potencial de Economia em Instalações de Bombeamento, produzido pelo Projeto de Eficiência Energética no Abastecimento de Água – ProEESA, que é fruto da cooperação técnica entre Brasil e Alemanha através do trabalho da

Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério de Desenvolvimento Regional (SNS/MDR) com o Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento da Alemanha - BMZ. O objetivo dessa etapa é escolher dentre as unidades do abastecimento de água, aquela que possui maior potencial de melhoria por AEE's.

A segunda etapa, o Diagnóstico Energético, será baseada na NBR ISO 50.002 de 2014 produzida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas; no livro Sistemas de bombeamento de água: Eficiência Energética, elaborado pelo Professor Dr. Heber Pimentel Gomes, autor de diversas publicações sobre o assunto; no Modelo Demonstrativo de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água: Memória de Cálculo confeccionado pelo ProEESA. O objetivo dessa etapa é analisar a unidade e identificar AEE's que propiciem a otimização do gasto com energia elétrica na empresa.

3.1 Pré-diagnóstico energético

O pré-diagnóstico ocorrerá através do ranqueamento das unidades de abastecimento de água da CAESB. Este ranking será feito pela análise dos 15 maiores consumidores de energia no ano de 2020. Conforme a literatura, é esperado que as estações de bombeamento de água estejam nos primeiro colocados. Dentro desses 15 maiores consumidores será feita uma triagem, escolhendo os sistemas de bombeamento e fazendo o cálculo do indicador de desempenho Consumo de Energia elétrica normalizado – CEN.

O indicador de desempenho CEN mede a eficiência normalizada de sistemas de bombeamento de água em um determinado período, que deve ser igual para todas as unidades analisadas. Este se chama normalizado pela necessidade de diluir a interferência das alturas manométricas nos dados de consumo. É natural que uma unidade que opere em alturas manométricas mais altas gaste mais energia elétrica do que unidades operando em alturas menores, mesmo bombeando o mesmo volume de água. Sendo assim, dividir o consumo de energia apenas pelo volume de água não traria informações sobre a eficiência da unidade. (ProEESA, 2017).

A definição do indicador CEN é exposta na equação a seguir:

$$CEN = \frac{E}{F_{normal}} \quad (13)$$

Onde:

- E é o total de energia elétrica consumida no bombeamento(kWh);
- F_{normal} é o fator de normalização (m³x100m).

O fator de normalização é obtido conforme o equacionamento a seguir:

$$F_{normal} = \frac{V \times H}{100} \quad (14)$$

Onde:

- V é o volume total de água bombeado no período de referência (m³).
- H é a altura manométrica média verificada no mesmo período (mca).

Logo, substituindo a equação X na equação Y, temos a fórmula geral para o CEN:

$$CEN = \frac{E \times 100}{V \times H} \quad (15)$$

Onde:

- E é o total de energia elétrica consumida no bombeamento no período de referência (kWh);
- V é o volume total de água bombeado no mesmo período (m³).
- H é a altura manométrica média verificada no mesmo período (mca).

O indicador CEN padroniza todas as unidades operacionais de bombeamento na mesma métrica, indicando quanto de energia é usada para elevar 1m³ de água a 100 metros de altura. Essa normalização permite comparar diferentes motobombas, instalações elevatórias e prestadores de serviço. É importante observar que a normalização não engloba as perdas de carga de cada altura manométrica, onde uma unidade com 90 metros de altura geométrica e 10 metros de perda de carga estaria na mesma posição do ranking que uma unidade operacional com 60 metros de altura geométrica e 40 metros de perda de carga, onde ambas possuiriam 100 mca de altura manométrica (ProEESA, 2017).

A fórmula da altura manométrica pode ser observada a seguir:

$$H = H_g + H_{pd} \quad (3)$$

Onde:

- H é a altura manométrica média verificada no mesmo período (mca).
- H_g é a altura geométrica, dada pela diferença entre a cota de destino e a cota de partida da água (m).
- H_{pd} é a perda de carga presente nas adutoras (m).

O cálculo do indicador CEN resulta em um valor com unidade em [kWh/(m³x100m)] que traduz o rendimento do sistema de bombeamento. O módulo desse valor é inversamente proporcional a eficiência expressa em porcentagem, sendo que sistemas com desempenhos ruins apresentarão valores de CEN mais elevados, sendo a situação inversa verdadeira (ProEESA, 2017).

O valor mínimo teórico para o indicador é 0,2725, que representa 100% de eficiência, ou seja, o sistema seria capaz de converter toda a energia elétrica em pressão hidráulica na saída do CMB, o que contraria as leis da física clássica. Nesta transformação energética ocorrem perdas por vibração, aquecimento, escorregamento, tanto no motor, como na bomba (ProEESA, 2017). Estas perdas não fazem parte do escopo do trabalho, portanto não serão abordadas.

O indicador CEN pode ser convertido em dado de eficiência pela seguinte fórmula:

$$CEN \left[\frac{kWh}{m^3 \times 100m} \right] = \frac{0,2725}{\eta} \% \quad (16)$$

Após o cálculo do CEN das unidades será feito um novo ranqueamento e escolhidas cinco unidades com o maior valor de CEN, ou seja, com o pior rendimento. Dentre essas será escolhida a unidade que tiver a melhor disposição dos dados. Caso tenha empate, será escolhida a unidade que apresentar o maior valor gasto com energia elétrica no ano de 2020.

3.2 Diagnóstico Energético

O diagnóstico energético de um sistema consiste na determinação das possibilidades de melhorar o aproveitamento dos recursos energéticos para produzir a mesma quantidade ou mais de um produto em determinado processo. Tratando-se de abastecimento de água, os principais recursos são a água e a energia elétrica, que é utilizada na captação, tratamento e transporte

dessa água (TSUTIYA, 2006). Com a melhoria da eficiência do uso energético, garante-se que a atual infraestrutura do Setor Elétrico no Brasil seja suficiente por mais tempo, postergando a necessidade de construção de novos empreendimentos (ELETROBRÁS, 2020).

3.2.1 Fronteiras do diagnóstico

O diagnóstico deve ser elaborado com base em dados existentes ou levantados nas unidades consumidoras e será tanto mais preciso quanto mais exato e completo forem esses dados. O diagnóstico terá sua fronteira nos equipamentos consumidores de energia elétrica localizados na unidade operacional escolhida. Equipamentos que não possuem consumo de energia elétrica e ou não pertençam a unidade não serão tratados na análise.

Embora a redução de perdas de água também reduz o gasto com energia elétrica, pois reduz o volume total de água a ser produzido e por consequência o consumo da energia elétrica (TSUTIYA, 2006); o trabalho não contempla as perdas de água do sistema, que pela sua complexidade deve ser tratado em estudo próprio em paralelo a análise de energia elétrica.

3.3 Elementos a serem analisados

Além das grandezas elétricas, outros itens serão analisados para compor o diagnóstico. A obtenção e manutenção das informações necessárias devem ser levadas em conta desde a fase de planejamento. Neste trabalho, como não serão feitas medições, os dados serão obtidos através de coleta por documentos fornecidos pela CAESB. Os tipos de dados candidatos a serem utilizados nas análises são tratados a seguir.

3.3.1 Levantamento do Diagrama eletro-hidráulico da unidade

O diagrama eletro-hidráulico proporciona a visualização dos componentes consumidores de energia da unidade operacional a ser analisada, bem como suas características. Essas características costumam ser: indicação de quantidade e informações eletro-hidráulicas de conjuntos motobomba, cotas dos eixos das bombas, níveis operacionais, capacidade dos reservatórios, comprimento e diâmetro de adutoras, pontos de medição de pressão (GOMES, 2009).

3.3.2 Levantamento das contas de energia elétrica da unidade

O levantamento de faturas de energia tem o objetivo de caracterizar o suprimento de energia elétrica da unidade. No caso, a CAESB possui um sistema de gestão de contas de

energia, onde os dados das faturas são dispostos para consulta. Analisar essas faturas servirá tanto para o pré-diagnóstico, como para o diagnóstico. No diagnóstico serão verificados as demandas de potência contratadas, o devido enquadramento tarifário e o fator de potência da unidade.

3.3.3 Diagrama unifilar da instalação elétrica

Segundo Gomes (2009), a maior parte das empresas de abastecimento de água não possuem registros de suas instalações elétricas. Porém, tais dados são fundamentais para a verificação das condições operacionais (sub ou superdimensionamento, sistemas de proteção e partida de motores, entre outras) e proposição de reformas, ampliações ou simplesmente rearranjo de componentes.

No diagrama deve-se encontrar o caminho da corrente elétrica da entrada na unidade pelos fios da concessionária distribuidora até os equipamentos consumidores de energia como motores e circuitos de iluminação. Deve conter o valor da tensão de suprimento, os dados de transformadores de força e de comando, caracterização dos disjuntores, chaves seccionadoras, barramentos, fios e cabos dispositivos de partida de motores como inversores de frequência e instrumentos de medição.

3.3.4 Levantamento do cadastro de equipamentos da unidade consumidora

Deve ser levantado a documentação que contém os dados dos equipamentos instalados nas estações, principalmente as que se referem aos conjuntos motobomba. Os principais dados são: de placas de motores e bombas, curvas de desempenho das bombas, painéis de força e comando elétrico, planta baixa com locação dos equipamentos, informações de diâmetro e material das tubulações hidráulicas e conexões (GOMES, 2009).

3.3.5 Levantamento dos recursos auxiliares de gestão

O uso de recursos tecnológicos possibilita elevar o padrão de qualidade da gestão da eficiência energética. Os sistemas de informação georreferenciados, que são um conjunto de mapas e plantas associados ao banco de dados a operadora, permitem pesquisas e representações gráficas. A modelagem digital da rede hidráulica permite a simulação de condições operacionais e por consequência a otimização dessa operação. A comunicação das variáveis elétricas e hidráulicas de todo o sistema com o centro de controle operacional, por

meio de um sistema computacional, permite o registro de dados, relatórios e comando remoto dos conjuntos de bombeamento.

3.3.6 Levantamento dos Procedimentos de Operação e Manutenção

Segundo Gomes (2009), muitos eventos que causam desperdício de energia na operação de um sistema de abastecimento de água são fruto da inexistência de procedimentos previamente estabelecidos para situações do cotidiano de uma operadora de serviços. Alguns procedimentos como manter reservatórios cheios, mesmo no horário mais caro da energia elétrica, variar vazão por meio de registros de estrangulamento e utilizar equipamentos superdimensionados para substituir outros em situação de reparo não são coerentes com a busca pela eficiência. Desse modo, quando alguma operação desse tipo for encontrada deve ser recomendada a operação correta.

3.3.7 Medições em campo

A medição no campo é indispensável para a elaboração de um bom diagnóstico, podendo levantar dados novos e confirmar dados existentes. A inspeção visual é suficiente para a verificação das condições de segurança da instalação, mas nada substitui a medição das grandezas elétricas e hidráulicas para a caracterização dos equipamentos e instalações.

As medições de campo fornecem os dados para o cálculo de indicadores de desempenho, cujo acompanhamento levará à proposição das intervenções necessárias para o aperfeiçoamento do processo. Caso haja medição permanente, como registro centralizado dos dados do sistema em um Centro de Controle Operacional - CCO, a tarefa é facilitada, pois o cálculo e acompanhamento dos indicadores podem ser feitos de forma automática, com avisos e alarmes emitidos oportunamente pelo sistema computacional. Essa etapa é de suma importância tanto no início do diagnóstico para se estabelecer comparações as linhas de base como para após a implementação as AEE's, para verificar sua eficácia. Muitos projetos só são remunerados após essa etapa de verificação dos resultados prometidos.

Devido a necessidade da padronização das medições e das verificações, a Efficiency Valuation Organization - EVO desenvolveu o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Desempenho – PIMVD (*International Performance Measurement & Verification Protocol - IPMVP*) que compreende um manual para implementação de métricas de eficiência energética para poder quantificar a energia economizada. Estas métricas são

necessárias, pois não se pode medir diretamente a energia não consumida como se mede a consumida, em kWh. (EVO, 2021)

3.3.8 Estimativa de custo e benefício das AEE's

A apresentação de estudos de viabilidade econômica será feita através do cálculo utilizando o potencial de economia calculado para uma ação de eficiência energética alvo que será estipulada. Ao reduzir o consumo em x kWh, basta multiplicar esse valor pela tarifa praticada no período e terá o valor em reais que a AEE's retornará em benefício. Com a soma dos valores obtidos nos 12 meses de 2020, tem-se a estimativa de retorno anual do investimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Pré-diagnóstico

O Pré-diagnóstico foi realizado conforme o fluxograma apresentado em anexo, utilizando os dados obtidos dos 12 meses do ano de 2020. Primeiro realizou-se o ranqueamento decrescente das unidades do sistema de água em relação ao seu consumo de energia em kWh e selecionadas as 15 maiores consumidoras. Em seguida foi calculado o indicador de eficiência Ph5 e feito um novo ranqueamento, dessa vez crescente de acordo com a eficiência, para a escolha das menos eficientes. Os dados necessários para análise foram os valores anuais acumulados de volume bombeado e consumo de energia, e as respectivas alturas manométricas de operação.

A tabela a seguir mostra as 15 maiores unidades do sistema de água e seus devidos valores.

Tabela 1 - Ranqueamento das unidades por consumo em 2020

Unidade	Consumo (kWh)	Custo (R\$)	Volume (m ³)	Altura manométrica (m)	Ph5	Eficiência (%)
EAB.RDE.001	109.876.413	43.298.939,78	125.539.644,96	280	0,313	87%
EAB.TOR.001	29.637.159	13.786.737,82	62.903.976,19	142,21	0,331	82%
EAT.TAG.001	13.164.190	5.843.744,03	33.679.279,01	69,4	0,563	48%
EAT.LNT.001	3.725.620	1.753.797,60	6.819.011,14	202,2	0,27	101%
EAB.LPA.002	3.278.790	1.604.478,43	14.642.645,18	90	0,249	109%
EAB.RBA.001*	3.019.041	1.764.762,68	3.164.489,86	160	0,596	46%
EAB.PIP.001	2.900.675	1.387.286,85	7.367.308,99	104,4	0,377	72%
EAT.LNT.002	2.465.068	1.194.473,01	3.389.617,15	180,8	0,402	68%
EAB.FUM.001	2.413.870	1.157.851,86	4.122.501,70	110,5	0,53	51%
EAT.MDA.001	2.030.264	1.029.052,71	1.663.358,11	192,6	0,634	43%
EAT.LSL.002	835.958	395.935,79	2.698.691,04	36,36	0,852	32%
EAT.TAG.003	680.879	303.197,47	7.170.526,08	52,69	0,18	151%
EAB.BRC.001	545.009	240.230,98	1.391.062,46	72,21	0,543	50%
ERE.CEI.001 ³	448.252	248.464,01	6.380.491,39	15,5	0,453	60%
EBO.TAQ.001	314.536	166.540,93	982.685,09	22	1,455	19%
Total**	175.335.724	R\$ 74.175.493,95	281.915.288	-	-	-

Fonte: Autor, dados da CAESB, 2020.

No cálculo do indicador Ph5 utilizou-se a fórmula (15) e para a eficiência a fórmula (16). A seguir a tabela com as unidades ordenadas de forma crescente em relação a sua eficiência.

Tabela 2- Ranqueamento das unidades menos eficientes.

Ranqueamento Ph5	
EBO.TAQ.001	18,7%
EAT.LSL.002	32,0%
EAT.MDA.001	43,0%
EAB.RBA.001³	45,7%
EAT.TAG.001	48,4%
EAB.BRC.001	50,2%
EAB.FUM.001	51,4%
ERE.CEI.001³	60,2%
EAT.LNT.002	67,8%
EAB.PIP.001	72,3%
EAB.TOR.001	82,3%
EAB.RDE.001	87,1%
EAT.LNT.001	100,9%
EAB.LPA.002	109,4%
EAT.TAG.003	151,4%

Fonte: Autor, dados da CAESB, 2020.

A EAT.MDA.001 ficou em terceiro colocado, sendo escolhida por apresentar melhores qualidades das informações disponíveis. Seus dados de consumo, valores de fatura e volume bombeado não apresentaram variações significativas fora da tendência ao longo do ano de 2020. A primeira colocada, EBO.TAQ.001, apresentou valores desproporcionais no mês de agosto; seu volume de água bombeada aumentou em relação aos outros meses do ano, mas seu consumo de energia caiu pela metade, o que indica algum problema de medição nesse mês. Fato que deu preferência para a próxima unidade da tabela. A segunda colocada, EAT.LSL.002 foi descartada por possuir outras unidades dentro de seu campus, dificultando a individualização do consumo da unidade elevatória de água.

Vale destacar que os valores acima de 90% de eficiência também merecem atenção pois são mais difíceis de se atingir, beirando o impossível teórico. As unidades grandes, como a Elevatória de Água Bruta Rio Descoberto (EAB.RDE.001), tem um ganho de escala devido ao grande volume bombeado, e acabam sendo as mais eficientes do sistema. A seguir tabela com a comparação da EAT.MDA.001 e a EAB.RDE.001 em relação aos valores totais do sistema de água do DF.

Tabela 3 - Comparação com a maior consumidora de energia elétrica.

Unidade	Consumo (kWh)	Custo (R\$)	Volume (m³)	Eficiência (%)
EAT.MDA.001	1,2%	1,4%	0,6%	43,0%
EAB.RDE.001	62,7%	58,4%	44,5%	87,1%
Total ²	175.335.724	R\$ 74.175.493,95	281.915.288,00	-

Fonte: Autor, dados da CAESB, 2020.

A elevatória EAT.MDA.001 corresponde a 1,2% do consumo total de energia do sistema de água da CAESB e a EAB.RDE.001 corresponde a 62,7%, respectivamente 0,2GWh e 109GWh em 2020. É possível notar o ganho de eficiência devido a escala de produção. Outro fator que contribui para maior eficiência das maiores unidades é tempo de retorno dos investimentos em melhorias serem menores, pois a cada 1% de ganho em eficiência representa uma redução maior no valor da fatura de energia, contribuindo para a viabilidade das ações de eficiência energética nessas unidades.

4.2 Diagnóstico Energético

Com a unidade escolhida, deu-se início as investigações para a execução do diagnóstico seguindo o fluxo de atividades proposto pela NBR ISO 50.002.

O Planejamento do diagnóstico deu-se conforme o cronograma apresentado a seguir.

Tabela 4 - Cronograma dos trabalhos realizados.

Etapa	Semana* (1 a 10)	Atividades
Planejamento do Diagnóstico	1 a 3	<ul style="list-style-type: none"> Estudo sobre a CAESB; Levantamento de análises anteriores sobre as unidades.
Reunião	4	<ul style="list-style-type: none"> Reunião com os engenheiros da Área de Gestão Energética da companhia; Reunião com engenheiro responsável pela unidade EAT.MDA.001.
Coleta de Dados	5 e 6	<ul style="list-style-type: none"> Coleta dos dados referentes a CAESB; Coleta de dados referente a unidade EAT.MDA.001.
Plano de medições	-	Não foi considerado plano de medições neste trabalho conforme explicado na metodologia.
Visita ao Local	7	<ul style="list-style-type: none"> Visita acompanhada do responsável das unidades. Fotos e checagem dos dados obtidos nos relatórios anteriores levantados.

Análise dos dados	8	<ul style="list-style-type: none"> • Análise das faturas de energia de 2020 até setembro de 2021, verificando consumo, demanda contratada e fator de potência. • Análise do histórico de volume bombeado pela unidade no mesmo período. • Análise das informações estruturais e operacionais da unidade.
Relatório**	9 e 10	Execução dos resultados e conclusões desse trabalho. **
Reunião de Encerramento	9 e 10	Apresentação do TCC-2

As etapas ocorreram em um intervalo de 10 semanas, iniciando no dia 30/08/2021 e finalizando na data de apresentação do trabalho, prevista para dia 05/11/2021. Por se tratar de um estudo de caso, o “Relatório”, que deve ser apresentado como forma de produto de um diagnóstico energético recomendado pela norma, será descrito em forma de texto nos itens Resultados e Discussões, e Conclusão deste trabalho.

4.2.1 Fronteiras do Diagnóstico

O diagnóstico possui como fronteira temporal o período dos 12 meses de 2020 para os dados de volume de água bombeado, alturas manométricas do sistema, dados presentes nas faturas de energia. Como fronteira física, deu-se área do terreno, onde as variáveis operacionais externas a esse ambiente não foram consideradas. A figura a seguir mostra a visão superior da unidade, bem como suas delimitações físicas.

Figura 5 - Vista aérea da unidade.



Fonte: Google Earth, 2020.

4.2.2 Análise da unidade EAT.MDA.001

A unidade é situada na Região Administrativa Planaltina, no Distrito Federal. Conforme verificado usando o software Google Earth, a unidade possui um terreno de aproximadamente 4800 m² e sua área construída ocupa aproximadamente a metade dessa área, conforme mostrado na figura 05 anteriormente.

A iluminação externa é feita com 8 postes com lâmpadas de 250W cada, ficando acessos durante a noite. A iluminação interna do prédio é utilizada apenas quando alguém entra para manutenção ou inspeção. Por não representar relevância na potência instalada da iluminação, seu consumo foi dispersado nos cálculos desse trabalho, considerando o consumo de energia apresentado nas faturas como o consumo dos CMB's da unidade operacional.

A rede elétrica é alimentada em média tensão, 13,8 kV, e possui 2 transformadores em sua subestação. O maior, responsável por abaixar a tensão de 13,8 kV para 2,3 kV, exclusivo para os motores dos CMB's. O menor, responsável pelos serviços auxiliares como válvulas acionadas por pequenos motores; reduz a tensão em 380 V. A medição do consumo de energia da concessionária ocorre antes da subestação, sendo assim as perdas de transformação de responsabilidade do consumidor. É importante que a empresa mantenha as manutenções da subestação em dia para que as perdas sejam as mínimas possíveis. Para este trabalho não foram considerados as perdas de transformação. A figura 6 a seguir mostra os dois transformadores.

Figura 6 - Transformadores



Fonte: Autor, 2020.

Dentro do prédio dos CMB's encontram-se os cubículos de entrada, onde são alocados os comandos dos motores, comandos de emergência, os multimedidores, os transformadores de instrumentos (corrente e potencial), chave seccionadora e demais instrumentos que possam ser alocados durante a vida útil da elevatória. São quatro cubículos iguais ao da foto a seguir, um para cada CMB e outro de reserva, conforme Figura 7.

Figura 7 - Cubículo de entrada.



Fonte: Autor, 2020.

O modo de acionamento dos motores é por partida direta. Nesse tipo de acionamento ocorre um pico de corrente no momento da partida e é necessário um dimensionamento de cabos, disjuntores e contadores que considerem esse valor. Conforme os dados de placa de cada motor, a corrente de partida é 6 vezes a corrente nominal, totalizando 792A. Como alternativa para a partida direta existem os equipamentos chamado “soft-starter”, que são equipamentos que modulam a tensão e corrente da rede de modo que o motor é acelerado gradativamente.

A rampa de aceleração proporcionada pelo “soft-starter” permite reduzir o pico da corrente de partida e estabiliza a tensão evitando quedas. A rotação modulada do motor faz com que a bomba também obedeça a mesma aceleração e por consequência a vazão da água aumenta gradativamente também. Esse controle na velocidade da água evita picos de pressão dentro das tubulações contribuindo para vida útil dos equipamentos.

Outro instrumento apresentado como alternativa para a partida direta são os inversores de frequência. Eles possuem a mesma capacidade de modular a partida do motor como o “soft-starter” e em adicional conseguem variar a frequência do motor durante o funcionamento conforme programado. Esta função permite atuar no motor quando em regime de operação, adequando a rotação da bomba conforme a necessidade de vazão do sistema de abastecimento. Quando o bombeamento não possui inversor de frequência é comum que o controle de vazão seja feito por válvulas, o que aumenta as perdas de carga no sistema, consumindo mais energia elétrica.

Por apresentar funções mais sofisticadas, os inversores de frequência são mais caros, sendo necessário uma análise se o “soft-starter” é o suficiente ou deve-se escolher pelo inversor. Segundo explicado pelo responsável pela parte elétrica da unidade a rotina de operação da bomba é em média 12 horas por dia a uma vazão sem grandes variações, sendo ligada uma vez e desligada uma vez. Por conta dessas características a equipe de operação tem preferido o uso da partida direta. Além dos pontos levantados, é preciso levar em consideração despesas com a manutenção, pelo fato de ficar mais sofisticada quando se usa inversor de frequência e “soft-starter”. Com as análises de potencial financeiro das ações de eficiência energética desse trabalho espera-se auxiliar esse tipo de decisão.

São três conjuntos motor e bomba na unidade, sendo que operam com apenas um e outro de reserva. Cada CMB tem potência elétrica nominal de 441kW e uma vazão de projeto de 0,17 m³/s. Os dados coletados nas placas dos conjuntos motor e bomba instalados na unidade são demonstrados na tabela a seguir.

Tabela 5 - Dados de placa dos CMB's.

Dados Técnicos do CMB da EAT.MDA.001			
Bombas	B1	B2	B3
Marca	KSB	KSB	KSB
Modelo	B16B6	B16B6	B16B6
Rotação nominal (rpm)	1788	1788	1788
Vazão de Projeto (m ³ /h)	612/700	612/700	612/700
AMT (mca)	190/167,5	190/167,5	190/167,5
Diâmetro do rotor (mm)	1,0356	1,0356	1,0356
Motores	M1	M2	M3
Marca	WEG	WEG	WEG
Modelo	HGF 400A	HGF 400A	HGF 400 ^a
Rotação nominal (rpm)	1787	1787	1787
Potência nominal (cv)	600	600	600
Corrente nominal (A)	132	132	132
Tensão nominal (V)	2300	2300	2300
Nº de fases	3	3	3
Frequência (Hz)	60	60	60
Rendimento do motor (%)	96	96	96
Fator de Potência (cos)	0,87	0,87	0,87
Fator de serviço	1,2	1,2	1,2
Nº Polos	4	4	4

Fonte: Dados de placa, 2020.

Na placa do motor pode-se observar sua eficiência de 96%, que explica a grande aplicação dos motores elétricos para aproveitamento do trabalho útil gerado. Nos CMB's, a bomba possui menor eficiência do que os motores, pois ela quem está em contato a água, sendo impactada por mais variáveis do sistema. A figura a seguir mostra os 3 CMB's instalados na unidade.

Figura 8 – Três conjuntos motor e bomba da unidade.



Fonte: Autor, 2020.

Na parte superior tem-se o motor elétrico da WEG e acoplado em baixo, a bomba KSB. A eficiência nominal da bomba pode ser calculada utilizando a fórmula (5) disposta a seguir.

$$\eta_b = \frac{P_{hid}}{P_m} = \frac{\gamma \times Q \times H}{P_m} \quad (5)$$

Substituindo-se os valores extraídos da placa na fórmula (5):

$$\eta_b = \frac{P_{hid}}{P_m} = \frac{9810 \frac{N}{m^3} \times 0,17 \frac{m^3}{s} \times 190 \text{ mca}}{441 \text{ kW} \times 96\%} = 74,8\% \quad (5)$$

Com esse valor, a eficiência nominal global do CMB será fruto da multiplicação entre as eficiências da bomba e do motor, atingindo a 72%. O que é muito distante da eficiência calculada para o CMB utilizando o indicador Ph5.

Segundo estudos da CAESB realizados na EAT.MDA.001 no ano de 2018, esta chegou a operar com 62% de eficiência no bombeamento, valor que é mais próximo ao nominal e será tido por este trabalho como valor alvo de eficiência para os cálculos de análise financeira das ações de eficiência energética. Não foi encontrado dados de ensaio de vazão das bombas, sendo que esse tipo de ensaio é essencial para montar a curva de operação e saber com mais precisão

a eficiência de operação da bomba e do motor. O ensaio estará nas recomendações de ação de eficiência energética mais a frente.

Ao utilizar os dados de vazão média acumulada no ano de 2020 medidos pelo medidor de vazão como exemplo, que é de $0,053 \text{ m}^3/\text{s}$, e aplicar na fórmula (5), encontra-se 23% de eficiência para bomba. Multiplicando pela eficiência do motor, o rendimento global do CMB seria de 22,4%, representando a falta de exatidão para o dado anualizado. Espera-se que quando for feito o ensaio, os valores de rendimento sejam mais realistas. Para realizar o ensaio nas bombas é necessário estar medindo instantaneamente os dados de vazão, pressão de sucção, pressão de recalque, frequência e potência elétrica do CMB. O uso de inversores de frequência permite realizar os testes variando a frequência para variar a vazão, sendo uma outra vantagem dos inversores.

4.2.3 Análise das faturas de energia

Conforme estabelecido pela ANEEL através da Resolução Normativa 414 de 2010, a elevatória pertence ao grupo tarifário A e Subgrupo A4, com abastecimento em 13,8KV. O Grupo A engloba as unidades consumidoras de média e alta tensão, e o Subgrupo A4 restringe o agrupamento para unidades abastecidas com valores de tensão entre 2,3kV até 25kV. Quanto à modalidade tarifária, é praticada a Tarifa Horó-Sazonal Verde, que é permitida para sistemas de até 44 kV. A partir desse valor a unidade deveria ser tarifada pela Tarifa Horó-Sazonal (THS) Azul. Assim, conforme as regras dispostas na REN 414, toda unidade que é THS-Verde pode querer migrar para THS-Azul, mas apenas quem for THS-Azul e abastecidas em tensão menor que 44kV tem o direito de migrar para THS-Verde. Pela possibilidade das duas opções será feita a análise do enquadramento tarifário.

A modalidade tarifária THS-Verde, praticada atualmente na unidade, possui diferenciação no valor da tarifa quanto a hora do consumo, dividido em horário de ponta e horário fora ponta. Nessa modalidade também é cobrado pela demanda de potência que a unidade requer da distribuidora de energia, sendo que não é feito a distinção em horário. Na THS-Azul existe variação no valor da tarifa quanto ao horário, tanto para consumo de energia como para potência demandada. Os demais aspectos tarifários são iguais para ambos.

O horário de ponta e fora ponta são definidos por cada distribuidora local. Eles devem representar os horários de maior e menor consumo de energia elétrica na região respectivamente. Em Brasília, foi definido que o horário de ponta é de 18 horas da noite até as 21 horas; o restante do horário é considerado fora ponta.

A demanda cobrada na fatura é medida pela média dos valores de potência em um intervalo de 15 minutos, conforme estabelecido na REN 414. Para título de cobrança, pega-se o maior valor obtido no mês de fatura. Caso o valor medido seja menor que a potência contratada, paga-se referente ao valor contratado, caso o valor seja maior que o contratado em 5%, paga-se pelo valor medido. Caso o valor medido ultrapasse os 5% de tolerância, é cobrado com base no valor medido, porém a tarifa é dobrada como forma de multa. A tabela a seguir mostra a média das tarifas aplicadas em cada modalidade em 2020.

Tabela 6 - Média THS AZUL e VERDE em 2020.

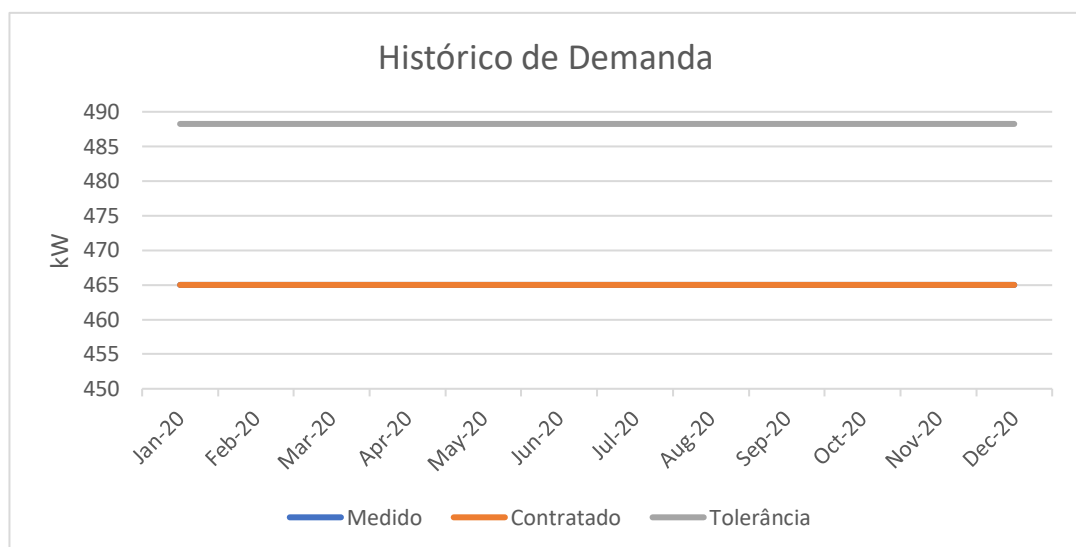
Verde			
Ponta (kWh)	Fora Ponta (kWh)	Demanda (kW)	
R\$ 1,38	R\$ 0,43	R\$ 11,70	
Azul			
Ponta	Fora Ponta	Demanda Ponta	Demanda Fora Ponta
R\$ 0,65	R\$ 0,43	R\$ 29,94	R\$ 11,68

Fonte: Faturas CAESB, 2020.

4.2.4 Análise do histórico de demanda contratada

Foi analisado o histórico de demanda para verificar se o que é contratado está bem dimensionado. Esse tipo de análise possibilita saber se está subdimensionado, pois na fatura só é mostrado o valor medido em caso de ultrapassar a demanda contratada.

Gráfico 2 - Histórico de demanda contratada



Fonte: Autor, 2020.

No gráfico 02, é possível notar que não houve ultrapassagem na demanda, pois as linhas dos valores medidos e contratado estão sobrepostas, percebendo somente a laranja no gráfico. Quando não ocorre ultrapassagem é mostrado apenas a potência contratada, e para identificar se a demanda está superdimensionada é necessário o ensaio dos CMB's conforme recomendado anteriormente ou fazer o requerimento de memória de massa ante a distribuidora, que darão os valores de potência medidos em determinado intervalo de tempo.

4.2.5 Adequação da tarifa contratada

Foi feita a simulação da aplicação da THS-Azul para unidades do subgrupo A4 a fim de comparar se o valor acumulado no ano de 2020 seria maior em relação ao que foi pago praticando a THS-Verde. Foram retirados os dados das tarifas THS-Verde e Azul dos 12 meses do ano, e aplicados para os mesmos consumos e valores de demanda contratada. Vale lembrar que para a THS-Azul é necessário aplicar a demanda para tarifa de ponta e de fora ponta, a não ser que se saiba exatamente qual a potência em cada horário de cobrança. A tabela a seguir mostrar os resultados da simulação mês a mês bem como o valor acumulado. A THS-Verde é mais econômica do que a Azul, provando que a escolha para a unidade está correta. Os valores das linhas são o resultado da diferença entre o gasto no verde e o gasto no azul. As tabelas com os valores de tarifa, consumo, demanda, excedente de energia reativa e valores das faturas constam no Anexo III deste trabalho.

Tabela 7 - Comparação THS VERDE - AZUL

RESULTADO: Verde é melhor opção	
Mês	Diferença (R\$)
jan/20	-R\$ 1.348,03
fev/20	-R\$ 1.376,70
mar/20	-R\$ 1.099,77
abr/20	-R\$ 996,52
mai/20	-R\$ 901,90
jun/20	-R\$ 810,77
jul/20	-R\$ 779,82
ago/20	-R\$ 795,83
set/20	-R\$ 810,64
out/20	-R\$ 843,60
nov/20	-R\$ 1.140,70
dez/20	-R\$ 418,00
Mês	-R\$ 11.322,27

Fonte: Autor, 2020.

O valor economizado acumulado é relativamente baixo comparado ao volume financeiro do ano, e isto indica que a unidade está operando próximo ao modo que pode ser favorável praticar-se a THS-Azul na unidade. Com base nisto, será feita uma simulação para estipular um parâmetro, que possa indicar esta proximidade de viabilidade favorável a tarifa azul. Conforme apresentado no gráfico a seguir, é possível notar que, quando se compara a THS-Verde com a Azul para unidades do subgrupo A4, ocorre variação expressiva apenas na tarifa de consumo na ponta e demanda na ponta.

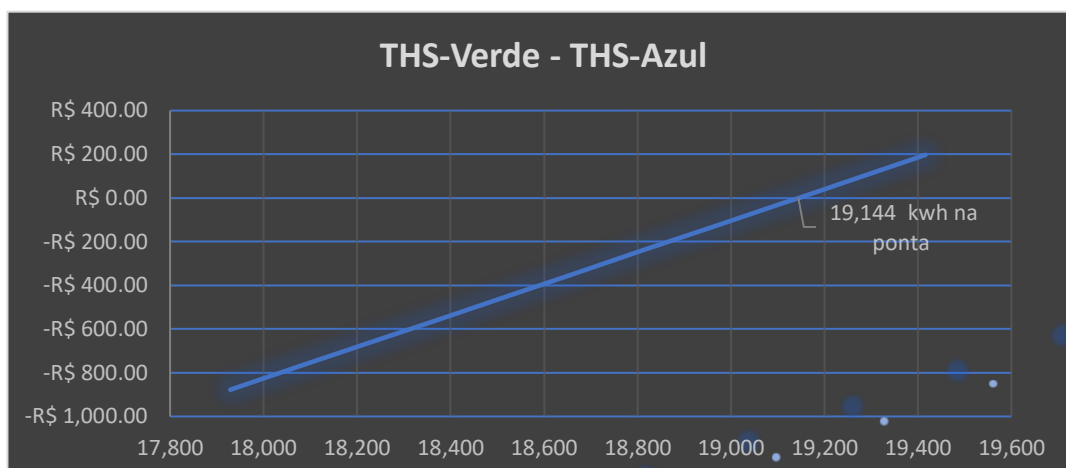
Tabela 8 - Variação do valor da tarifa Verde para Azul

Variação da tarifa azul em relação a verde (ambas A4)				
Mês	Tarifa Consumo		Tarifas Demanda	
	Ponta	Fora Ponta	Ponta	Fora Ponta
jan/20	-51%	0,010904%	160%	0,00000%
fev/20	-52%	0,248835%	160%	0,00000%
mar/20	-52%	0,000000%	160%	0,00000%
abr/20	-52%	0,000000%	160%	0,00000%
mai/20	-52%	0,000000%	160%	0,00000%
jun/20	-52%	0,000000%	160%	0,00000%
jul/20	-52%	0,000000%	160%	0,00000%
ago/20	-52%	0,000000%	160%	0,00000%
set/20	-52%	0,000000%	160%	0,00000%
out/20	-52%	0,000000%	160%	0,00000%
nov/20	-57%	0,463123%	139%	-1,62452%
dez/20	-58%	-1,162246%	138%	0,00000%

Fonte: Autor, 2020.

Foi escolhido que a relação estipulada seja feita com base nas variáveis de consumo e demanda na ponta. A relação busca identificar qual o consumo deve ser praticado para que o valor mais barato da tarifa de consumo na ponta compense a tarifa mais cara praticada na demanda da THS-Azul, em relação a verde. Para isso manteve-se os valores utilizados para a simulação do enquadramento tarifário, variando apenas o consumo de energia na ponta e mantendo constante a demanda, conforme mostrado no gráfico 3 a seguir.

Gráfico 3 - Ponto de migração da VERDE para AZUL



Fonte: Autor, 2020.

O momento em que a reta do gráfico cruza o eixo X e passa a ser positivo é o ponto onde o valor do consumo de energia na ponta torna a THS-Azul mais viável que a verde, que é 19.144 kWh. Assim, chega-se a uma proporção de 41,1 kWh para cada 1 kW de demanda contratada. Quando a proporção for de 42 kWh deve-se refazer e dimensionamento, pois possivelmente a unidade estará em momento de migrar para THS-Azul.

4.2.6 Análise do fator de potência

Durante o período de análise foi encontrado apenas um registro de ocorrência de fator de potência abaixo do permitido pela ANEEL, que é 0,92. O valor aplicado como multa, durante o ano de 2020 foi de R\$23,83. Como a contrapartida é muito pequena, não será recomendada ação de eficiência energética referente ao fator de potência. Para casos em que é relevante, costuma-se recomendar a correção do fator de potência com um banco de capacitores instalados em paralelo aos CMB's.

4.2.7 Análise do potencial financeiro de economia.

Conforme os valores de eficiência de bombeamento calculados para a unidade a partir do indicador Ph5 presente no pré-diagnóstico, conclui-se que a unidade apresentou funcionamento com rendimento médio de 43%, no ano de 2020. Registros de estudos realizados em 2018, demonstraram que a unidade já operou em 62% de eficiência. Por isso foi escolhido esse percentual como alvo da análise. Foi comparado o consumo de energia elétrica que a unidade teve em cada mês do ano de 2020 com o consumo que ela teria se tivesse operado com o rendimento alvo durante o mesmo período. A diferença desses consumos representa o potencial de economia ao operar mais eficiente.

Ao aplicar as tarifas praticadas em cada mês com o potencial de economia no consumo do mesmo período tem-se o valor financeiro que as AEE's poderiam proporcionar. E esses valores servirão para calcular o tempo de retorno desse tipo de investimento. Na tabela 9 a seguir é possível ver o potencial de economia de energia e de custo se o alvo tivesse sido atingido em cada mês de 2020.

Tabela 9 - Potencial de economia a 62% de rendimento.

Mês	Potencial de redução Ponta (kWh)	Tarifa Ponta	Potencial de redução Fora Ponta (kWh)	Tarifa Fora Ponta	Valor economizado no mês
Janeiro	5.576	R\$ 1,41	49.079	R\$ 0,46	R\$ 30.500,54
Fevereiro	4.273	R\$ 1,38	37.245	R\$ 0,44	R\$ 22.426,36
Março	5.071	R\$ 1,37	43.824	R\$ 0,43	R\$ 25.990,57
Abril	5.033	R\$ 1,37	43.213	R\$ 0,43	R\$ 25.617,98
Mai	3.194	R\$ 1,37	27.298	R\$ 0,43	R\$ 16.221,56
Junho	3.530	R\$ 1,37	30.094	R\$ 0,43	R\$ 17.910,92
Julho	3.050	R\$ 1,36	25.934	R\$ 0,43	R\$ 15.350,80
Agosto	2.236	R\$ 1,36	19.014	R\$ 0,43	R\$ 11.228,79
Setembro	2.100	R\$ 1,35	17.847	R\$ 0,43	R\$ 10.527,42
Outubro	556	R\$ 1,35	4.731	R\$ 0,43	R\$ 2.779,04
Novembro	2.715	R\$ 1,41	23.195	R\$ 0,41	R\$ 13.308,37
Dezembro	3.094	R\$ 1,47	26.592	R\$ 0,44	R\$ 16.261,86
Potencial de economia em 2020 a 62% de eficiência					R\$ 208.124,22

Fonte: Autor, 2020.

Para facilitar os cálculos para estimar o tempo de retorno do investimento, foram considerados que os R\$ 208.124,22 ocorreram de forma uniforme em cada mês do ano, sendo considerado R\$ 17.343,69 por mês. Na tabela 10, a seguir, é demonstrado o tempo de retorno, em meses, do investimento, em reais, em diferentes patamares de valores.

Tabela 10 - Tempo de retorno dos investimentos em meses.

Valor do investimento (R\$)	Tempo de retorno Simples (meses)
35.000,00	2,0
50.000,00	2,9
80.000,00	4,6
100.000,00	5,8
150.000,00	8,6
200.000,00	11,5
250.000,00	14,4
300.000,00	17,3
400.000,00	23,1

Fonte: Autor, 2020.

5 CONCLUSÃO

A estação elevatória de água analisada apresentou resultados satisfatórios em relação ao seu enquadramento tarifário, o que representa estar pagando pela energia da melhor maneira. Assim, o foco das ações de eficiência deve ser o modo como a elevatória consome a energia, ou seja, eficiência dos CMB's. Pelo volume de energia contratado, a elevatória poderia adquirir energia de outros fornecedores, sem ser a distribuidora local, no chamado Ambiente de Contratação Livre. Neste tipo de ambiente, regulamentado pela ANEEL, ocorre a negociação bilateral de energia entre vendedores e compradores, porém não foi objeto de estudo deste trabalho. Outra oportunidade de estudo que a estação de bombeamento apresentou é a disponibilidade de espaço em seu terreno para a geração de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos, que também é regulamentado pela ANEEL e no longo prazo pode diminuir o gasto com energia da unidade. Para as duas alternativas acima, é fundamenta que a unidade esteja operando de forma mais eficiente possível.

As recomendações foram feitas visando o CMB da unidade atingir rendimento global de 62% para que possa valer a análise financeira realizada. Destaca-se que foi calculado o tempo de retorno de investimento sem considerar a valorização do dinheiro no tempo, impostos, juros e inflação. Fatores como o aumento crescente da tarifa de energia e a diminuição gradativa do desconto nas tarifas que as empresas de saneamento têm direito, faz com que aumente a viabilidade dos investimentos em eficiência energética. Na tabela a seguir consta o resumo das análises e suas recomendações.

Tabela 11 - Resumo das recomendações de AEE.

Item	Ação	Objetivo
1	Ensaio de vazão bombas	<ul style="list-style-type: none"> • Plotar a curva de operação do sistema; • Conhecer o consumo de energia elétrica nos pontos de vazão desejados; • Conhecer o ponto de maior eficiência da bomba para a operação desejada.
2	Análise da viabilidade de substituição da bomba	Com a eficiência da bomba conhecida, pesquisar no mercado bombas mais eficientes, que tenham eficiência entre 64% e 74% e aplicar a metodologia de cálculo utilizada na análise financeira desse trabalho.

Fonte: Autor, 2020.

A primeira recomendação pode ser realizada pela própria equipe da CAESB, não representando gastos consideráveis. A segunda necessita análise, e espera-se que a metodologia utilizada para a previsão do potencial de retorno em se atingir 62% contribuam para tal. Segundo os cálculos, para investimentos de até R\$200.000,00 tem potencial de retorno de 12 meses. Conforme dado de placa, o CMB foi instalado em 2004, tendo operando por aproximadamente 180 meses, 15 vezes o tempo de retorno estimado para aquele montante de investimento, o que pode ser considerado bom.

Conclui-se, então, a revisão energética da Elevatória de Água Tratada Mestre D'Armas ressaltando dois pontos. O primeiro é que o indicador de eficiência de bombeamento CEN ou Ph5 demonstrou ser uma boa ferramenta para identificar unidades que necessitam de ações de eficiência energética. A principal fragilidade do indicador é a origem dos dados, que deve ser o mais refinado possível. Quanto mais assertivo os dados forem, mais precisas as análises e os níveis de eficiência podem ser atingidos com menos custo. Conforme na NBR ISSO 50.001 a gestão de energia das companhias deve ser feita de modo cíclico, e evoluindo a cada Diagnóstico Energético. Em segundo, se espera que as estimativas realizadas neste trabalho contribuam para as decisões a serem tomadas para a unidade EAT.MDA.0001, em relação à eficiência energética, e inspirem novas ações para a CAESB.

REFERÊNCIAS

ADASA. Plano Distrital de Saneamento Básico e de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Distrito Federal, 2017.

ALÉ, J. A. V. Sistemas fluido mecânicos. Apostila, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul–PUCRS, Porto Alegre, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12.211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12.217: Projeto de Reservatório de Distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 50.002: Diagnósticos Energéticos – Requisitos e orientações para uso. Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12.218: Projeto de Redes de Distribuição de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 2017.

Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2015. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017a. 212p.: il.

Brasil, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética, Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE, 2017b

Brasil. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2016. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2018. 220 p.: il.

Brasil. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.: il.

Brasil, Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2026 / Ministério de Minas e Energia. Brasília: MME/EPE, 2017

BEZERRA, A. R. A. Utilização da fluidodinâmica computacional como ferramenta de estudo em bombas centrífugas. 2018. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. Mecânica dos Fluidos – Fundamentos e Aplicações. 1ª edição. São Paulo. Mc GrawHill, 2007.

CARVALHO, P.S., O Controle para bombeamento distribuído com vistas à minimização dos custos energéticos aplicado a sistemas de abastecimento de água, tese de doutorado, PPGEM/UFPB, João Pessoa, PB, Brasil, 2012

Distrito Federal. Lei Nº 2.416, de 6 de julho de 1999. Disponível em: http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/50374/Lei_2416_06_07_1999.html . Acesso: 10/05/2021.

Distrito Federal. Lei nº 3.559, de 18 de janeiro de 2005. Disponível em: http://www.sinj.df.gov.br/sinj/Norma/51492/Lei_3559_18_01_2005.html Acesso: 10/05/2021.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional: ano base 2013. Ministério de Minas Energia, Brasil, 2014.

EVO - EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION. Protocolo Internacional de Medição e verificação de Performance - PIMVP - Conceitos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água - Volume 1 - EVO 10000 - 1:2012 (Br), 2012.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional: ano base 2017. Ministério de Minas Energia, Brasil, 2018.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Nacional de Energia 2030. Ministério de Minas Energia, Brasil, 2015.

ELETROBRÁS. Eficiência Energética em sistemas de Bombeamento. Rio de Janeiro, 2005. 272p.

ELETROBRÁS. Programa Nacional de Conservação de Energia (PROCEL). Pesquisa de posse e hábitos de uso de equipamentos elétricos na classe residencial – Distrito Federal. Brasil, 2019.

ELETROBRÁS. Terceiro Plano Anual de Aplicação de Recursos do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Brasil, 2020.

GOMES, H. P. Sistemas de Saneamento – Eficiência Energética. Editora Universitária, João Pessoa-PB, p.3, 2009. 1ª edição. 366p.

GOMES, H. P. Abastecimento de Água. Editora LEHNS/UFPB, João Pessoa-PB, 2019. 1ª edição. 464p.

ProEESA, Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água. Manual de Cálculo do consumo do consumo Energético Normalizado e do Potencial de Economia em Instalações de Bombeamento. Brasília, 2017.

MAITELLI, CWSP. Simulação do Escoamento monofásico em um Estágio de uma Bomba Centrífuga Utilizando Técnicas de Fluidodinâmica Computacional. 2010. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

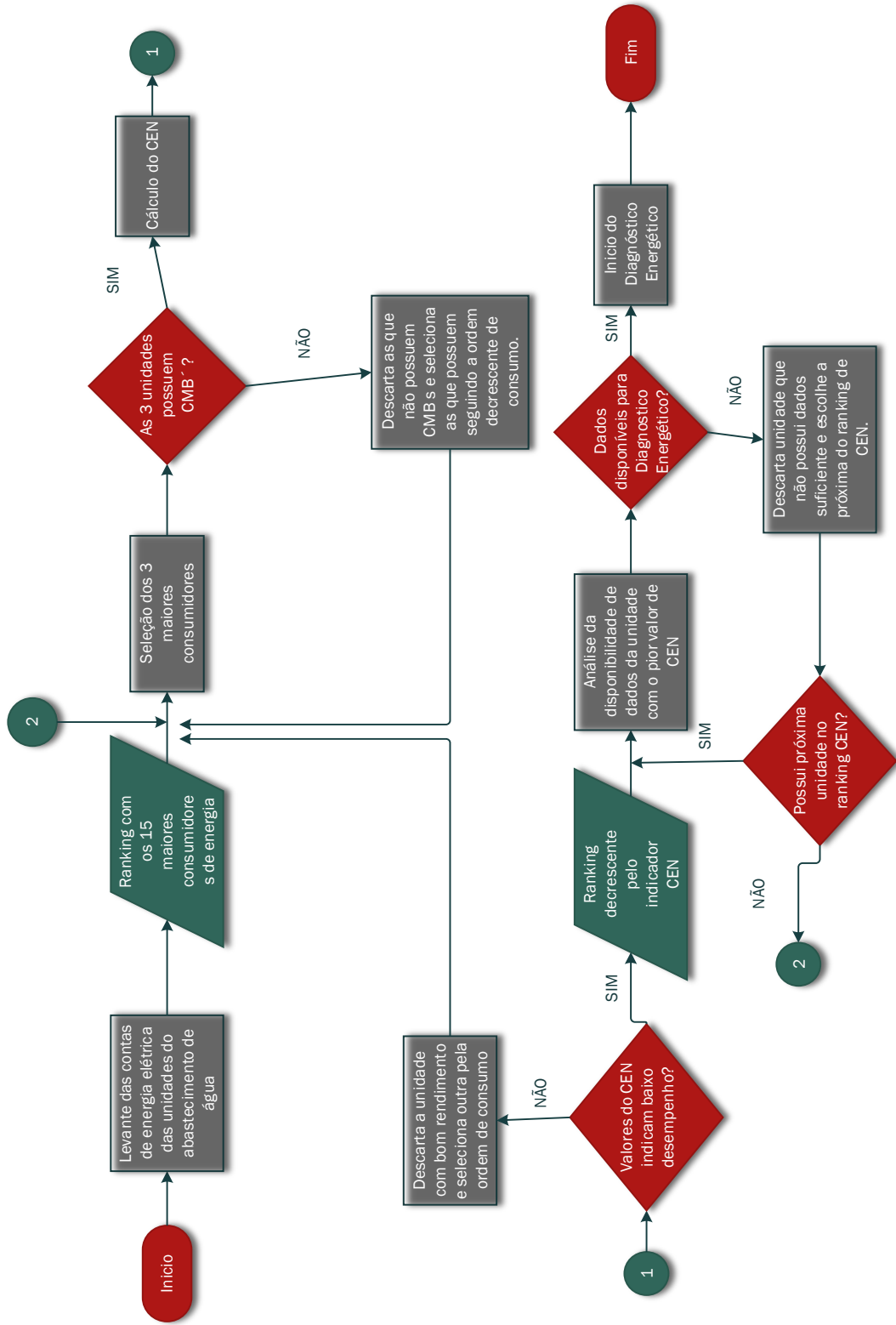
PINTO, Á. A gestão da energia com a norma ISO 50001. Minas Gerais. Dissertação (Engenharia de Energia) - Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, 2014.

SCHWARZ, L. N. Dimensionamento de um rotor para uma bomba centrífuga. Monografia (Graduação). Universidade Regional do Nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2020.

SPE (Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético). Plano Nacional de Eficiência Energética: premissas e diretrizes básicas. Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2010. 156 p.

TSUTIYA, M.T., Redução do custo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água. 2. Ed. São Paulo: Abes, 2006. 186 p.

ANEXO 1 - Fluxograma do Pré-Diagnóstico



ANEXO III - A – Simulação Enquadramento tarifário VERDE.

Mês	Consumo Ponta			Consumo Fora Ponta			Demanda		Total com desconto	
	Consumo	Tarifa	Fatura com desconto	Consumo	Tarifa	Fatura com desconto	Potencia	Tarifa		Fatura com desconto
jan/20	17.109	R\$1,41	R\$ 22.125,21	150.582	R\$0,46	R\$63.688,04	465	R\$11,42	R\$ 4.869,88	R\$ 91.424,88
fev/20	17.282	R\$1,38	R\$ 21.832,63	150.624	R\$0,44	R\$61.335,83	465	R\$11,24	R\$ 4.791,01	R\$ 88.726,22
mar/20	17.446	R\$1,37	R\$ 21.892,34	150.786	R\$0,43	R\$60.110,74	465	R\$11,24	R\$ 4.791,62	R\$ 87.561,45
abr/20	17.601	R\$1,37	R\$ 22.039,06	151.120	R\$0,43	R\$60.113,54	465	R\$11,21	R\$ 4.781,25	R\$ 87.700,60
mai/20	17.748	R\$1,37	R\$ 22.248,61	151.676	R\$0,43	R\$60.403,89	465	R\$11,23	R\$ 4.786,73	R\$ 88.205,98
jun/20	17.889	R\$1,37	R\$ 22.445,38	152.511	R\$0,43	R\$60.790,65	465	R\$11,24	R\$ 4.791,01	R\$ 88.817,61
jul/20	17.929	R\$1,36	R\$ 22.355,86	152.432	R\$0,43	R\$60.381,82	465	R\$11,17	R\$ 4.761,25	R\$ 88.265,69
ago/20	17.902	R\$1,36	R\$ 22.271,39	152.212	R\$0,43	R\$60.157,44	465	R\$11,14	R\$ 4.750,41	R\$ 87.945,99
set/20	17.877	R\$1,35	R\$ 22.212,20	151.943	R\$0,43	R\$59.975,29	465	R\$11,13	R\$ 4.744,42	R\$ 87.698,65
out/20	17.821	R\$1,35	R\$ 22.059,04	151.702	R\$0,43	R\$59.654,13	465	R\$11,08	R\$ 4.726,51	R\$ 87.206,43
nov/20	17.734	R\$1,41	R\$ 22.859,50	151.490	R\$0,41	R\$56.844,55	465	R\$13,70	R\$ 5.841,77	R\$ 86.312,57
dez/20	17.599	R\$1,47	R\$ 23.651,15	151.249	R\$0,44	R\$61.165,75	465	R\$14,57	R\$ 6.213,21	R\$ 91.796,86

ANEXO III - B - Simulação Enquadramento tarifário AZUL.

Mês	Ponta			Fora Ponta			Demanda Ponta e Fora Ponta - 465kW contratado					Total com desconto
	Consumo	Tarifa	Fatura com desconto	Consumo	Tarifa	Fatura com desconto	Potencia	Tarifa Ponta	Fatura Ponta com desconto	Tarifa Fora Ponta	Fatura F. Ponta com desconto	
jan/20	17.109	R\$0,69	R\$10.785,80	150.582	R\$0,46	R\$63.694,98	465	R\$29,74	R\$12.680,49	R\$11,42	R\$4.869,88	R\$92.772,91
fev/20	17.282	R\$0,67	R\$10.581,59	150.624	R\$0,45	R\$61.488,46	465	R\$29,26	R\$12.475,11	R\$11,24	R\$4.791,01	R\$90.102,91
mar/20	17.446	R\$0,66	R\$10.515,41	150.786	R\$0,43	R\$60.110,74	465	R\$29,26	R\$12.476,70	R\$11,24	R\$4.791,62	R\$88.661,21
abr/20	17.601	R\$0,66	R\$10.585,88	151.120	R\$0,43	R\$60.113,54	465	R\$29,20	R\$12.449,70	R\$11,21	R\$4.781,25	R\$88.697,12
mai/20	17.748	R\$0,66	R\$10.686,53	151.676	R\$0,43	R\$60.403,89	465	R\$29,23	R\$12.463,98	R\$11,23	R\$4.786,73	R\$89.107,89
jun/20	17.889	R\$0,66	R\$10.781,05	152.511	R\$0,43	R\$60.790,65	465	R\$29,26	R\$12.475,11	R\$11,24	R\$4.791,01	R\$89.628,39
jul/20	17.929	R\$0,65	R\$10.738,05	152.432	R\$0,43	R\$60.381,82	465	R\$29,07	R\$12.397,63	R\$11,17	R\$4.761,25	R\$89.045,50
ago/20	17.902	R\$0,65	R\$10.697,81	152.212	R\$0,43	R\$60.157,44	465	R\$29,01	R\$12.369,41	R\$11,14	R\$4.750,41	R\$88.741,82
set/20	17.877	R\$0,65	R\$10.669,04	151.943	R\$0,43	R\$59.975,29	465	R\$28,97	R\$12.353,79	R\$11,13	R\$4.744,42	R\$88.509,29
out/20	17.821	R\$0,65	R\$10.595,48	151.702	R\$0,43	R\$59.654,13	465	R\$28,86	R\$12.307,16	R\$11,08	R\$4.726,51	R\$88.050,03
nov/20	17.734	R\$0,61	R\$9.846,97	151.490	R\$0,41	R\$57.107,81	465	R\$28,80	R\$13.984,88	R\$13,48	R\$5.746,87	R\$87.453,27
dez/20	17.599	R\$0,62	R\$10.009,44	151.249	R\$0,44	R\$60.454,85	465	R\$28,64	R\$14.770,61	R\$14,57	R\$6.213,21	R\$92.214,86

ANEXO III - C – Pontos em comum aplicados nas duas simulações.

Mês	EREX Ponta	EREX Fora Ponta	CIP	Desconto em cada tarifa
jan/20	Não	Não	R\$ 741,75	8,3%
fev/20	Não	Não	R\$ 766,75	8,3%
mar/20	Não	Não	R\$ 766,75	8,3%
abr/20	Não	Não	R\$ 766,75	8,3%
mai/20	Não	Não	R\$ 766,75	8,3%
jun/20	R\$ 2,76	R\$ 21,07	R\$ 766,75	8,3%
jul/20	Não	Não	R\$ 766,75	8,3%
ago/20	Não	Não	R\$ 766,75	8,3%
set/20	Não	Não	R\$ 766,75	8,3%
out/20	Não	Não	R\$ 766,75	8,3%
nov/20	Não	Não	R\$ 766,75	8,3%
dez/20	Não	Não	R\$ 766,75	8,3%

O desconto aplicado a tarifa não interfere no valor do resultado da simulação por ser aplicado nas duas equações, podendo ser cancelado para esse tipo de análise. Isso vale para a contribuição de iluminação pública.