



Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Manual

Cálculo do Consumo Energético Normalizado

e do

Potencial de Economia em Instalações de Bombeamento

Outubro 2017



MINISTÉRIO DAS
CIDADES



Título: Manual de Cálculo do Consumo Energético Normalizado e do Potencial de Economia em Instalações de Bombeamento

Elaborado por: AKUT Umweltschutz Ingenieure Burkard und Partner

USt-ID DE 227 840 440

Autores: Rita Cavaleiro de Ferreira, André Lopes de Oliveira

Revisões: Jonas Gonçalves

Para: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Encargo: Projeto de Eficiência Energética no Abastecimento de Água, GIZ Brasil

No. do Encargo: PN 2013.2079.5

Coordenação: Arnd Helmke, Coordenador do Programa Energias Renováveis e Eficiência Energética (GIZ)

Ernani Ciríaco de Miranda, Diretor do Departamento de Planejamento e Regulação, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, Ministério das Cidades.

Outubro 2017

Informações Legais

1. Todas as indicações, dados e resultados deste estudo foram compilados e cuidadosamente revisados pelo(s) autor(es). No entanto, erros com relação ao conteúdo não podem ser evitados. Consequentemente, nem a GIZ ou o(s) autor(es) podem ser responsabilizados por qualquer reivindicação, perda ou prejuízo direto ou indireto resultante do uso ou confiança depositada sobre as informações contidas neste estudo, ou direta ou indiretamente resultante dos erros, imprecisões ou omissões de informações neste estudo.
2. A duplicação ou reprodução de todo ou partes do estudo (incluindo a transferência de dados para sistemas de armazenamento de mídia) e distribuição para fins não comerciais é permitida, desde que a GIZ seja citada como fonte da informação. Para outros usos comerciais, incluindo duplicação, reprodução ou distribuição de todo ou partes deste estudo, é necessário o consentimento escrito da GIZ.

Índice

Sumário Executivo	3
Siglas e Acrônimos	4
1. Introdução	5
2. Descrição do Manual	7
3. Indicador do Consumo Energético Normalizado	8
Fator de uniformização.....	8
Unidade de medida [kWh/(m ³ x100m)]	9
Conversão do CEN [kWh/(m ³ x100m)] em η [%]	10
Período de Análise	10
Confiabilidade dos Dados de Entrada.....	11
4. Dados de entrada	12
Tipologia do Sistema.....	12
Volume Elevado	13
Altura Manométrica	14
Consumo de Energia e Tarifa Elétrica	16
Custo de substituição do equipamento e nível de rendimento satisfatório	18
5. Cálculo do Rendimento	19
Cálculo do CEN [kWh/(m ³ x100m)]	19
Cálculo da Incerteza do Rendimento	19
6. Análise do Rendimento	21
Avaliação do Desempenho	21
Proposta de intervenção operacional.....	22
7. Potencial de Economia	23
Consumo de Energia.....	24
Custos com Energia	24
Emissões de Gases de Efeito de Estufa.....	24
Análise de Confiabilidade	25
8. Priorização nas intervenções	26
Ações de manutenção preventiva nos equipamentos	26
Ações de substituição de equipamentos.....	27
Análise de Confiabilidade do payback	28
9. Bibliografia	30
Anexo – Planilha ProEESA-CEN	

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Confiabilidade dos dados de entrada	11
Tabela 2 - Exemplo de preenchimento da tipologia do sistema e período de análise	12
Tabela 3 - Exemplo de preenchimento do volume elevado	13
Tabela 4 – Métodos para obter e estimar o volume bombeado	14
Tabela 5 - Exemplo de preenchimento da altura manométrica	14
Tabela 6 - Métodos para obter e estimar a altura manométrica	15
Tabela 7 - Exemplo de preenchimento de consumo de energia	17
Tabela 8 - Exemplo de preenchimento do custo de intervenção no sistema e do rendimento esperado.....	18
Tabela 9 - Resultados do exemplo de preenchimento	19
Tabela 10 - Critério de avaliação do rendimento dos conjuntos moto-bomba com motor externo	21
Tabela 11 - Critério de avaliação do rendimento dos conjuntos moto-bomba com motor submersível	22
Tabela 12 - Exemplo de avaliação de desempenho do rendimento	22
Tabela 13 - Rendimentos dos conjuntos moto-bomba correspondentes a eficiências satisfatórias	23
Tabela 14 - Priorização de intervenções de manutenção com base no potencial de economia 26	
Tabela 15 - Priorização de intervenções de substituição com base no payback	27
Tabela 16 – Classes de confiabilidade do payback expressa em estrelas	28

Índice de Figuras

Figura 1 – Conversão de diferentes motobombas para um padrão.....	9
Figura 2 – Exemplo em fatura de eletricidade do período de medição	11
Figura 3 – Exemplos de consulta da altura manométrica na placa da bomba	16
Figura 4 – Cálculo da tarifa média com base na fatura de eletricidade.....	17
Figura 5 – Cálculo do potencial de economia	23

Índice de Equações

Equação 1 - Consumo Energético Normalizado	8
Equação 2 - Fator de uniformização	8
Equação 3 - Fórmula descritiva do CEN	9
Equação 4 - Propagação geral de erros	19
Equação 5 - Fórmula do potencial de economia de energia	24
Equação 6 - Fórmula do potencial de economia de custos	24
Equação 7 - Fórmula do potencial de economia de gases de efeitos de estufa	25
Equação 8 - Fórmula do payback simples da substituição de um equipamento eletromecânico	27
Equação 9 - Fórmula da confiabilidade do payback	28

Sumário Executivo

Grande parte do consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água está relacionado com a operação de conjuntos moto-bomba. É uma situação comum nos prestadores de serviço a ausência de monitoramento dos desempenhos eletromecânico e hidroenergético de sistemas elevatórios de água.

Em razão disso, existem custos significativos que são desconhecidos e que não são evitados de modo ativo pelos prestadores de serviço.

Nesse contexto, o presente manual apresenta um método adequado às condições existentes em campo e imperfeitos para monitorar e realizar um pré-diagnóstico das eficiências de sistemas elevatórios de água, tendo em conta a disponibilidade de dados ou mesmo a sua ausência. Alternativamente os princípios descritos neste manual podem ser implementados usando soluções comerciais oferecidas pela indústria de tecnologias de informação, ou realizando adaptações aos sistemas de informação operacional e de fornecimentos (faturamento de eletricidade), podendo ser feitos ajustes por meio de programação.

O método em questão é pautado no cálculo de indicadores de rendimento e compara os valores diagnosticados com referências de desempenho relativos a bombas e motores.

Aplicando este manual se obtém as informações necessárias e úteis para gerentes e diretores direcionarem esforços de manutenção e priorizarem intervenções com base em um critério econômico. A ferramenta e o manual permitem a:

- Avaliação das instalações elevatórias em relação ao seu desempenho hidroenergético (satisfatório, mediano e insatisfatório)
- Priorização de instalações elevatórias visando a manutenção preventiva com base no potencial de economia mensal (R\$/mês) e (kWh/mês)
- Priorização de instalações elevatórias visando a substituição de equipamento eletromecânico com base no *payback* simples (meses)

Adicionalmente são feitas considerações sobre a confiabilidade que permitem ao tomador de decisão opções por melhor coleta de dados em casos específicos.

A sistematização do monitoramento e da avaliação de estações elevatórias permite detectar com celeridade desempenhos insuficientes de modo a que o prestador de serviço possa tomar medidas para manter níveis aceitáveis de eficiência.

A ferramenta constitui um monitoramento de baixo custo com uma excelente relação custo-benefício, considerando o esforço necessário na coleta de dados confiáveis para a tomada de decisões.

Siglas e Acrônimos

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CEN	Consumo Energético Normalizado
EEA	Estação Elevatória de Água
IWA	<i>International Water Association</i> – Associação Internacional da Água
mca	Metros de coluna de água
ProEESA	Projeto de Eficiência Energética em Sistemas de Abastecimento de Água
REN	Resolução Normativa da ANEEL
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNFCCC	Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima

1. Introdução

Grande parte do consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água está relacionado com a operação de conjuntos moto-bomba. É uma situação comum nos prestadores de serviço a ausência de monitoramento dos desempenhos eletromecânico e hidroenergético de sistemas elevatórios de água.

Dentre as razões para tal pode-se citar uma grande preocupação com a eficácia do fornecimento de água às populações, sendo que a eficiência constitui um aspecto menos presente no momento da realização do investimento.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um método para monitoramento e pré-diagnóstico das eficiências de sistemas elevatórios de água adequada às condições existentes em campo e que geralmente não são as ideais.

O método pretende dotar os prestadores de serviço com uma ferramenta de apoio à decisão para intervenções associadas à manutenção e/ou à substituição de equipamentos que possibilitem ganhos econômicos.

O método é indicado para o controle do rendimento de estações elevatórias usando a informação existente e disponível. O processo é considerado um pré-diagnóstico da operação de estações elevatórias (unidades consumidoras de eletricidade), que identificará aquelas com maior potencial de economia. Porém, para efeitos de justificar investimentos avultados é necessário sustentar a decisão com um diagnóstico embasado em valores medidos e com elevada exatidão por meio de auditorias energéticas e diagnósticos em campo.

O método em questão é pautado no cálculo do indicador de rendimento normalizado, em $[\text{kWh}/(\text{m}^3 \times 100\text{m})]$, ou em (%) de rendimento do conjunto motor-bomba e compara os rendimentos diagnosticados com valores de referência relativos a bombas e motores.

Aplicando esta ferramenta se obtém as seguintes informações úteis para a tomada de decisão em relação a medidas de manutenção preventiva e substituição de equipamentos:

- Avaliação das instalações elevatórias em relação ao seu desempenho hidroenergético (satisfatório, mediano e insatisfatório)
- Priorização instalações elevatórias visando a manutenção preventiva com base no potencial de economia mensal (R\$/mês) e (kWh/mês)
- Priorização instalações elevatórias visando a substituição de equipamento eletromecânico com base no payback simples (meses)

Adicionalmente se fazem considerações sobre a confiabilidade das informações que permitem ao tomador de decisão opções por melhor coleta de dados.

A presente metodologia pode ser integrada nas práticas do prestador de serviço de modo distinto.

- a) Usando a planilha PROEESA-CEN, que é indicado para entidades que gerem poucas estações elevatórias, (até cerca de 200 unidades). O uso da planilha é indicado para entidades que queiram ter todo o domínio das fórmulas usadas e manipular por si mesmo a planilha
- b) Usando soluções comerciais oferecidas pela indústria de tecnologias de informação. Esta opção oferece uma maior riqueza gráfica e a edição de relatórios

pré-estabelecidos. Para além disso a indústria de tecnologias de informação oferece assistência técnica¹.

- c) Usando os próprios sistemas internos de informação de operação. Nesta opção o desafio constitui articular os sistemas de informação operacional com as informações recebidas da faturação de eletricidade. Nesta opção é necessário programar dentro dos sistemas informáticos internos. Constitui a melhor forma de dar perenidade ao monitoramento do rendimento dos equipamentos.

¹ A empresa Vetorlog oferece assistência técnica neste campo especificamente através do **Software Saneamento Expert**: Este software constitui uma alternativa à planilha Excel e constitui um serviço prestado pela Vetorlog. O software assenta nos mesmos princípios descritos no presente Manual. <https://vetorlog.com/>

2. Descrição do Manual

O presente Manual pretende orientar o prestador de serviço a realizar o pré-diagnóstico das eficiências eletromecânica e hidroenergética. Os vários capítulos trazem informação explicativa e propostas de fácil assimilação.

- **Indicador CEN:** no capítulo 3 se explica o indicador de desempenho CEN (Consumo Energético Normalizado) e as suas componentes, que são a base para realizar o pré-diagnóstico;
- **Dados de entrada:** no capítulo 4 é feita uma articulação com a planilha de Excel disponível para cada um dos dados necessários. Também são sugeridos métodos de estimativa quando não existem dados;
- **Cálculo do Rendimento:** no capítulo 5 é feita a articulação com a planilha de Excel em relação ao rendimento. Se explica o rendimento nas suas várias unidades e se calcula a incerteza relativa do resultado;
- **Análise do Rendimento:** neste capítulo se faz um julgamento de valor sobre o rendimento obtido e propostas de intervenção. A avaliação distingue diferentes tipos e dimensões de motobombas;
- **Potencial de economia:** no capítulo 7 se calcula o potencial de economia em termos de consumo de energia e custos evitáveis, assim como emissões de gases de efeito estufa. Também são feitas considerações sobre a confiabilidade para avaliar melhor a certeza da economia esperada;
- **Priorização nas intervenções:** no capítulo 8 se fazem considerações sobre medidas de manutenção preventiva e de substituição de equipamentos eletromecânicos.
- **Anexo Erro! Fonte de referência não encontrada. – Planilha de EXCEL ProEESA-CEN:** Nesta planilha o prestador de serviço pode aplicar os conceitos e as fórmulas do manual diretamente de modo autónomo.

3. Indicador do Consumo Energético Normalizado

O indicador de desempenho CEN (Consumo Energético Normalizado) ou Ph5 da IWA² mede a eficiência energética normalizada de sistemas de abastecimento de água em um determinado período de referência.

O cálculo do indicador CEN envolve três variáveis de entrada: o volume total de água bombeado no período de referência; a altura manométrica média a ser superada pelo sistema e o total de energia elétrica consumida pelos conjuntos moto-bomba.

A definição do indicador pode ser verificada na Equação 1 a seguir:

Equação 1 - Consumo Energético Normalizado

$$CEN = \frac{E}{F_{unif}}$$

Onde:

- E é o total de energia elétrica consumida para bombeamento (kWh);
- F_{unif} é o fator de uniformização ($m^3 \times 100m$).

Fator de uniformização

Diferentemente do conceito de consumo específico de energia no abastecimento de água pelo volume (kWh/m^3), o indicador CEN tem a normalização pela altura manométrica. Desta forma, o indicador é capaz de captar peculiaridades de sistemas elevatórios cujas alturas manométricas são diferentes, calculando puramente o rendimento do conjunto moto-bomba. Esta característica permite que o rendimento calculado pelo indicador CEN seja convertido em (%).

O indicador CEN converte todas as estações elevatórias para uma mesma unidade, sendo que indica quanto a energia usada para elevar $1m^3$ de água a 100 m de altura. Esta conversão permite equiparar diferentes motobombas, instalações elevatórias e prestadores de serviço.

Desta forma, define-se o fator de uniformização pela Equação 2:

Equação 2 - Fator de uniformização

$$F_{unif} = \frac{V \times H}{100}$$

Onde:

- V é o volume total de água elevado no período de referência em (m^3);
- H é a altura manométrica média verificada no período de referência (mca).

Resulta-se então na Equação 3 abaixo:

² ALEGRE, H., HIRNER, W., BAPTISTA, J.M. e PARENA, R. (2000). *Performance indicators for water supply services*.

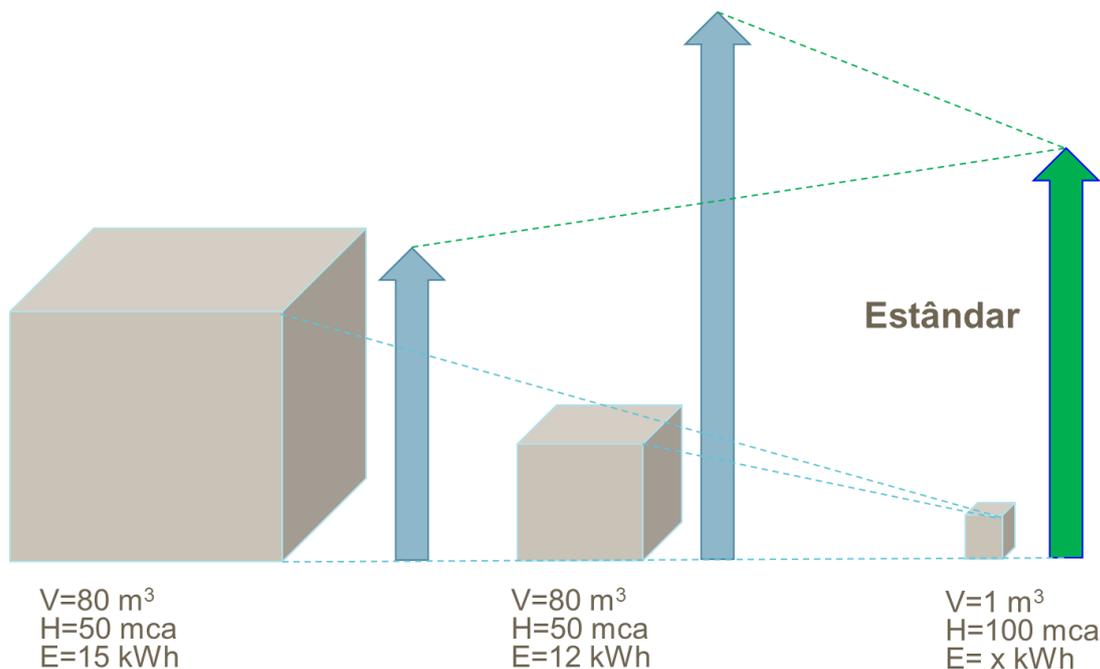
Equação 3 - Fórmula descritiva do CEN

$$CEN = \frac{E \times 100}{V \times H}$$

Onde:

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

Figura 1 – Conversão de diferentes motobombas para um padrão



Salienta-se que, através do fator de uniformização, o indicador CEN não distingue perdas de cargas de altura geométrica. Por exemplo: uma adutora com 90 m de altura geométrica e 10 m de perda de carga é percebida da mesma forma que uma adutora com 60 m de altura geométrica e 40 m de perda de carga, visto que ambas possuem 100 mca de altura manométrica.

Unidade de medida [kWh/(m³x100m)]

O cálculo do indicador CEN resulta em um valor em [kWh/(m³x100m)] que representa o rendimento do sistema de bombeamento. A magnitude deste resultado é inversamente proporcional ao rendimento expresso em (%), ou seja, sistemas pouco eficientes apresentam valores elevados de CEN, enquanto sistemas mais eficientes apresentam valores de CEN mais baixos.

O mínimo valor teórico é 0,2725, ($\eta = 100\%$) que corresponde a um sistema capaz de converter toda a energia elétrica fornecida em pressão hidráulica na tubulação de saída do conjunto moto-bomba. Tal sistema é apenas teórico, visto que perdas por vibração, aquecimento, escorregamento, etc., no motor e na bomba sempre ocorrerão, mesmo que possam ser reduzidas a um mínimo.

O seguinte quadro mostra 4 conjuntos motobombas com rendimentos diferentes expresso em [kWh/(m³x100m)] e em (%), embora todas as motobombas tenham o mesmo consumo específico de energia (0,5kWh/m³).

Quadro 3.1 – Comparação do rendimento de 4 motobombas com o consumo específico de 0,5kWh/m³

	(a)	(b)	(c)	(d)=(a)x(c)/100	e = (b)/(d)	0,2725/(e)	
Bomba ou instalação com bombas	Volume elevado (m ³)	Energia consumida (kWh)	Altura manométrica (m)	Fator de uniformização (m ³ /100m)	Eficiência energética (kWh/m ³ *100m)	Eficiência energética (%)	Avaliação
1	500	250	70	350	0,714	38%	Operação ineficiente
2	500	250	100	500	0,500	55%	Operação com eficiência média
3	500	250	140	700	0,357	76%	Operação eficiente
4	500	250	220	1.100	0,227	120%	Valor impossível - eficiente demais - Supera os valores teóricos de rendimento bomba-motor

Conversão do CEN [kWh/(m³x100m)] em η [%]

O indicador CEN pode ser convertido em rendimento percentual da seguinte maneira:

$$CEN \left[\frac{kWh}{m^3 \times 100m} \right] = \frac{E}{F_{unif}} = \frac{P \times t[h]}{V \times H/100} = 3,6 \times 10^5 \times \frac{P}{Q[m^3/s] \times H} = \frac{0,2725}{\eta} (\%)$$

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

Período de Análise

O cálculo do CEN de um sistema elevatório deve ser realizado relativamente a um intervalo de tempo significativo de análise. Preferencialmente o intervalo de estudo deve abranger um ou mais ciclos do padrão de funcionamento do sistema.

O método pode ser usado para períodos de análise diferentes, sendo que terão uma representatividade temporal diferente:

- um único momento através de medições *in loco* (por exemplo uma auditoria);
- um mês ou mais, usando dados da faturação mensal da energia elétrica;
- um ano, usando o conjunto dados ao longo do ano.

Períodos mais longos farão com que algumas inconsistências sejam menos significativas na avaliação global. Períodos mais curtos requerem maior exatidão das informações para

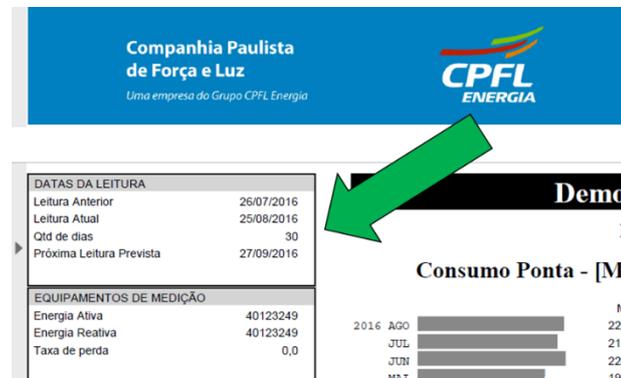
interpretações consistentes. O período de análise e a qualidade dos dados deve ser tida em conta na interpretação dos resultados.

No caso de sistemas de abastecimento público de água, o período mínimo de análise recomendado é de dois meses, já que há diferenças significativas no padrão de consumo doméstico de água ao longo de uma semana e entre semanas consecutivas.

É oportuno que o período de análise coincida no conjunto dos 3 dados (volume, energia e altura manométrica). Isto pode significar que seja necessário realizar um tratamento preliminar, dos dados de energia e vazão, pois as faturas de eletricidade nem sempre coincidem com o período do mês completo (de dia 01 a dia 28, 30 ou 31). Assim, os valores devem ser interpolados para uma correspondência idêntica nos meses em análise.

Na seguinte figura se indica onde se pode consultar na fatura de eletricidade o período de medição.

Figura 2 – Exemplo em fatura de eletricidade do período de medição



Confiabilidade dos Dados de Entrada

A confiabilidade dos dados de entrada (volume, energia e altura manométrica) está intrinsecamente ligada à confiabilidade do resultado obtido. A confiabilidade deve ser considerada para a tomada de decisões.

Visto que o cálculo do CEN se mostra sensível à baixa confiabilidade em qualquer um dos dados de entrada, faz-se necessário um tratamento conjunto da confiabilidade dos três valores usados.

A Planilha ProEESA-CEN permite que o usuário insira o nível de confiabilidade de cada dado de entrada. A confiabilidade do dado de entrada é dada em porcentagem de erro admitido relativamente à magnitude da grandeza em questão. Sempre que pelo menos um dos três valores de entrada for fruto de uma estimativa, deve-se atentar para a confiabilidade do resultado obtido. A seguinte tabela exemplifica os dados, a confiabilidade estimada e a faixa de valores associada a essa confiabilidade.

Tabela 1 - Confiabilidade dos dados de entrada

Dado	Confiabilidade - % de erro admitido	Valores possíveis com a confiabilidade indicada
100mca	+/- 20%	Entre 80 e 120mca
50mca	+/- 100%	Entre 0 e 100mca
5.000m ³	+/- 2%	Entre 4.900 e 5.100m ³
7.000kWh	+/- 1%	Entre 630 e 770kWh

4. Dados de entrada

O cálculo do Consumo Energético Normalizado é feito usando a Equação 3 a partir dos dados de entrada inseridos na Planilha ProEESA-CEN. Com os dados corretamente informados são calculados o CEN e o erro associado ao CEN.

Por regra geral se sugere calcular por instalação elevatória (podendo conter diversos conjuntos moto-bombas). O rendimento é calculado de modo conjunto sem distinção se um conjunto moto-bomba é mais eficiente que outro. A razão deste cálculo agregado resulta da obtenção de dados elétricos. Na fatura de eletricidade vem o consumo de todos os equipamentos associados a essa unidade consumidora elétrica. Por regra geral se encontram incluídos os consumos relativos a iluminação, porém podem ser desprezados, por serem pequenos quando comparados com toda a energia usada para elevar a água.

Tipologia do Sistema

A primeira informação a ser dada pelo usuário, após o nome da instalação elevatória e o período de análise do qual se dispõe de dados é a tipologia da instalação. É permitido ao usuário escolher entre duas opções de motores:

- Motor externo;
- Motor submerso.

Esta diferenciação é importante pois os níveis esperados de rendimento para os dois tipos de motores são diferentes.

Os motores submersos, por estarem submetidos a uma rotina de manutenção menos frequente, não possibilitar verificação visual ou auditiva de anomalias e por apresentarem engenharia mais compacta, dentre outros fatores, tendem a apresentar rendimentos mais baixos que motores externos.

Caso a estação elevatória tenha um padrão de operação, cujo número de conjuntos moto-bomba ligados varie de forma regular, não prevalecendo um dos arranjos, pode-se dividir os padrões de operação em duas ou mais linhas diferentes da planilha. No caso de variadores de frequência também se pode subdividir regimes de operação diferentes (modo de operação 1, 2, 3 etc.).

A seguinte tabela apresenta um exemplo de preenchimento da tipologia do sistema do e período de análise.

Tabela 2 - Exemplo de preenchimento da tipologia do sistema e período de análise

Dados Base		Período de Análise		Conjunto Moto-Bomba Atual		
Código	Estação elevatória	Período de análise - mín 2 [meses]	Período de análise [mm/aaaa]	Tipo de motor	Quantidade de bombas em operação simultânea	Potência de cada motor [kW]
A	EEA 1	12	01/2016 a 12/2016	externo	2	110,25
B	EEA 2 (3+1r)	12	01/2016 a 12/2016	externo	3	147
C	EEA 2 (2+2r)	12	01/2016 a 12/2016	externo	2	147

Volume Elevado

O próximo conjunto de dados de entrada na planilha é relativa ao volume elevado pelo sistema (ou arranjo específico do sistema) durante o período de análise. A Planilha ProEESA-CEN pede três informações sobre esta grandeza, respectivamente: o volume elevado (m³), a origem deste dado e o erro associado em (%).

A Tabela 3 apresenta um exemplo de preenchimento.

Tabela 3 - Exemplo de preenchimento do volume elevado

Dados Base		Água		
Código	Estação elevatória	Volume elevado no período [m ³]	Origem dos dados de volume	Erro relativo ao volume [±%]
A	Captação 1	8.443.383	macromedidor	5
B	Captação 2	344.581	macromedidor	5
C	Elevatória de Água 1	3.564.063	estimativa	15
D	Elevatória de Água 2	800.000	estimativa	30
E	Booster Zona Alta	156.000	estimativa	20

Quanto à origem do dado de volume, é permitido ao usuário escolher entre duas opções:

- Macromedidor;
- Estimativa.

Reconhece-se a origem do dado como de macromedidor apenas quando há um medidor exclusivo para aquela linha de recalque ou adutora. Caso o volume provenha de um cálculo indireto, estimando-se algum fator externo à adução (p. ex. índice de perdas) ou de uma somatória de volumes em que uma ou mais parcelas sejam estimadas, deve-se escolher a opção “estimativa”.

O erro relativo da medição deve ser aquele indicado pelo fabricante do equipamento de medição ou, caso haja estudos laboratoriais de verificação de precisão, pode-se considerar o valor encontrado. Se a magnitude do volume foi estimada, deve-se inserir também a precisão desta estimativa.

No caso de uma análise continuada do desempenho do sistema elevatório, para que o preenchimento da planilha seja coerente ao longo do tempo e não sofra com a troca do usuário a preencher, recomenda-se o registro de um protocolo de preenchimento. Neste protocolo devem constar possíveis estimativas consideradas e a justificativa para as mesmas, tanto para a magnitude, quanto para o erro relativo.

A seguinte tabela mostra diversas possibilidades para averiguar os volumes de água em caso de ausência de dados. Com qualquer um dos métodos usados, deve ser indicada a respectiva confiabilidade.

Tabela 4 – Métodos para obter e estimar o volume bombeado

Método de obtenção da informação	Confiabilidade
Macromedidor instalado e funcionando sem interrupções. Leitura do valor acumulado pelo operador.	elevada
Estimativa embasada em medições com falhas na série. Os valores faltantes são extrapolados.	mediano / elevado
Estimativa embasada em medições instantâneas com medidores portáteis. Os valores mensais são extrapolados.	mediana
Horas de operação de la bomba multiplicado pela vazão nominal	baixa
Valores extrapolados com base no funcionamento de bombas com variadores de frequência	baixa
Valores extrapolados com base em micro medição	muito baixa

Altura Manométrica

O terceiro conjunto de dados de entrada na planilha é relativa à altura manométrica da estação elevatória.

A altura manométrica é uma grandeza física de um sistema de bombeamento que representa o acréscimo de pressão agregada para elevar um fluido com uma certa vazão, superando o desnível geométrico e as perdas de carga hidráulicas na tubulação.

A Planilha ProEESA-CEN pede três informações sobre esta grandeza respectivamente: a altura manométrica média de operação na elevatória (ou no arranjo específico) em (mca), a origem deste dado e o erro associado em (%). A Tabela 5 apresenta um exemplo de preenchimento.

Tabela 5 - Exemplo de preenchimento da altura manométrica

Dados Base		Altura Manométrica		
Código	Estação elevatória	Altura manométrica média [m]	Origem dos dados de altura manométrica	Erro relativo à altura manométrica [±%]
A	Captação 1	132,5	manômetro	2,5
B	Captação 2	65,9	dados de projeto	10,0
C	Elevatória de Água 1	11,1	placa da bomba	5,0
D	Elevatória de Água 2	5,2	placa da bomba	5,0
E	Booster Zona Alta	29,0	estimativa	30,0

Quanto à origem do dado de altura manométrica, é permitido ao usuário escolher entre quatro opções:

- Manômetro;
- Dados de projeto;

- Placa da bomba;
- Estimativa.

Deve-se ter cautela ao realizar estimativas baseadas em medições de desnível por dados topográficos ou fotogramétricos. Em muitos sistemas, as perdas de cargas representam parcela significativa da altura manométrica. Portanto, tais estimativas devem contar com o cálculo aproximado das perdas de carga na tubulação a partir de um levantamento de informações como diâmetro, comprimento e principais válvulas e reduções. Caso essas informações não estejam disponíveis, recomenda-se inserir um erro relativo à altura manométrica superior a 50%.

No caso de sistemas com o preenchimento subdivido por arranjos operacionais, cabe ao usuário verificar qual é a altura manométrica média correspondente a cada arranjo e preenchê-la na linha de entrada correspondente.

Nas situações em que há inversores de frequência, os três dados em análise (volume de água elevado, energia consumida e altura manométrica) são variáveis em função da rotação da bomba. Não se considera que o uso de inversores de frequência invalide o cálculo realizado, pois duas variáveis, o volume de água e a energia consumida, são medidas, e a altura manométrica necessária é a prevista no projeto para abastecer o reservatório (ou da rede, caso *booster*). Se a bomba estiver elevando com altura manométrica excessiva (superior ao necessário) significa que a instalação não opera de acordo com as necessidades e de um modo eficiente. Nessas situações usando a fórmula do CEN resultam valores de menor eficiência.

A seguinte tabela mostra diversas possibilidades para averiguar a altura manométrica em caso de ausência de dados. Em qualquer um dos métodos usados, deve ser indicada a respectiva confiabilidade.

Tabela 6 - Métodos para obter e estimar a altura manométrica

Método de obtenção da informação	Confiabilidade
Medição contínua da pressão imediatamente à saída bomba, Medição do nível dinâmico de sucção da água, Valores médios para o período de análise	elevada
Medição do nível dinâmico, desnível geométrico, cálculo das perdas de carga por fricção até ao ponto de entrega, (a carga de velocidade na sucção pode ser desprezada)	elevada
Especificações da placa da bomba ou de documentação técnica	mediana
Estimativa com base em diferenças topográficas. Quanto mais longa a adutora maior é o erro associado às perdas e carga por fricção.	Mediano ou baixo

Na figura seguinte se mostra alguns exemplos onde é possível consultar os dados da placa da bomba:

Figura 3 – Exemplos de consulta da altura manométrica na placa da bomba



Consumo de Energia e Tarifa Elétrica

O quarto conjunto de dados necessário para o cálculo do CEN é o consumo de energia do sistema para o bombeamento no período de análise. Esta informação é a que em geral tem a obtenção mais fácil. Para o nível de precisão da análise neste pré-diagnóstico, as informações constantes na fatura de energia costumam ser suficientes. A informação a ser inserida na planilha normalmente se encontra em faturas de energia sob o título de “**Consumo Ativo Total**”.

É preciso atentar-se ao período de medição apontado na fatura de energia, pois este pode não coincidir com o mês civil ou o mês das medições hidráulicas. Neste caso, deve-se optar por realizar a análise com dados de volume e operação para o mesmo período de medição da distribuidora ou fazer uma correção ponderada dos valores de energia entre um mês e outro.

Quando os consumos de energia da estação elevatória são registrados em conjunto com outros equipamentos consumidores intensivos de energia, como aeradores de lodos ativados, por exemplo, é necessário estimar os consumos individuais. Esse procedimento reduz a confiabilidade dos resultados obtidos, mas não deve ser razão para não utilizar o método. Nestes casos deve ser compensado por meio da incerteza da confiabilidade dos dados.

A Planilha ProEESA-CEN pede quatro informações sobre esta grandeza nas colunas, respectivamente: o consumo de energia elétrica em (kWh), a origem deste dado, o erro associado em (%) e a tarifa média cobrada pela distribuidora em (R\$/kWh).

A tarifa média cobrada deve ser calculada a partir do custo que diz respeito apenas ao consumo de energia, não entrando aqui os custos de demanda, impostos sobre demanda, multas, etc.

Um erro frequente para determinar a tarifa média cobrada (R\$/kWh) costuma ser a divisão do valor global da fatura (R\$) pela energia (kWh) consumida. Usando este cálculo geram-se falsas expectativas do potencial de economia pois inclui a componente do custo da demanda elétrica. Equipamentos eletromecânicos operando de modo mais eficiente reduzem o consumo, mas não a demanda, se não houver alteração na potência. Por esta razão o uso do “*IN060 - Índice de despesas por consumo de energia elétrica do nos sistemas de água e esgotos*” do SNIS ou o preço médio que por vezes é indicado na fatura não são adequados para este cálculo, pela razão de incluir a componente da demanda elétrica.

Figura 4 – Cálculo da tarifa média com base na fatura de eletricidade

ICMS		PIS/COFINS		DISCRIMINAÇÃO DA OPERAÇÃO - RESERVADO AO FISCO			
Base de Cálculo R\$	Aliquota	Valor R\$	Aliquota PIS %	Quantidade	Preço Médio	Valores R\$	
1.223.535,04	18,00	220.236,30	0,78	2.362.760	0,45754140	1.081.060,51	X
Total de ICMS		220.236,30	3,59	Venda de Energia (kWh)			
ATENDIMENTO CPFL		INSTALAÇÃO		CONTA/MÊS	VENCIMENTO	TOTAL A PAGAR (R\$)	
0800 770 41 40				AGO/2016	28/09/2016	1.081.060,51 X	
www.cpflempresas.com.br		Segunda Via					
DESCRIÇÃO DA CONTA							
	Registrado	Contratado	Faturado	Tarifa/Preço	Valores R\$		
Consumo Ponta [KWh] - TUSD	222.720		222.720	0,06440450	14.344,18		
Consumo Fora Ponta [KWh]-TUSD	2.140.040		2.140.040	0,06440450	137.828,21		
Cons Ponta Band Verde - TE	222.720		222.720	0,34048450	75.832,70		
Consumo F Ponta Band Verde-TE	2.140.040		2.140.040	0,22099150	472.930,65		
Demanda Ponta [kW] - TUSD	3.552	4.000	4.000	19,71150000	78.846,00		
Demanda F Ponta [kW] -TUSD	3.556	4.000	4.000	6,89350000	27.574,00		
Descontos Tarifários					142.474,53		
ICMS Desconto Tarifario					33.035,44		
PIS/PASEP					9.543,57		
COFINS					43.924,90		
ICMS					187.200,86		
Subtotal					1.223.535,04		
Total Distribuidora					1.223.535,04		
Credito do Desconto Tarifario					142.474,53		
Total a Pagar					1.081.060,51		

Exemplificando:

Para a instalação elevatória com a fatura de eletricidade mostrada na figura anterior a tarifa média se calcula do seguinte modo:

- Energia consumida (kWh) = 222.720 + 2.140.040 = 2.362.760
- Reais pagos pela energia consumida (R\$) = 14.344,18 + 137.828,21 + 75.832,70 + 472.930,65 = 700.935,74

Tarifa Média (R\$/kWh) = 700.935,74 R\$ / 2.362.760kWh = 0,29666 R\$/kWh

Idealmente a tarifa média deve ser individual para cada unidade consumidora de energia (ou estação elevatória), pois assim acomoda os preços relativos ao horário de funcionamento e consequente as tarifas em ponta e fora de ponta.

A Tabela 7 apresenta um exemplo de preenchimento na planilha PROEESA-CEN.

Tabela 7 - Exemplo de preenchimento de consumo de energia

Dados Base		Energia Elétrica			
Código	Estação elevatória	Energia elétrica consumida no período [kWh]	Origem dos dados de energia elétrica	Erro relativo à energia elétrica [±%]	Tarifa média de energia (apenas consumo) [R\$/kWh]
A	Captação 1	4.659.154	medidor exclusivo	5	0,292
B	Captação 2	213.380	medidor compartilhado	10	0,310
C	Elevatória de Água 1	141.258	medidor compartilhado	8	0,292
D	Elevatória de Água 2	52.018	medidor exclusivo	2	0,292
E	Booster Zona Alta	150.000	estimativa	20	0,302

A seguinte tabela mostra diversas possibilidades para determinar os consumos energéticos. Em qualquer um dos métodos usados, deve ser indicada a respectiva confiabilidade.

Tabela 1 – Métodos para obter e estimar os consumos energéticos

Método de obtenção da informação	Confiabilidade
<p>Registro pelo operador a partir dos painéis de controlo</p> <p>Faturas da concessionária elétrica, desde que não existam consumos de outros equipamentos nesse medidor. (O erro máximo normatizado pela Agencia reguladora de Energia nos medidores elétricos é de 5%).</p> <p>Normalmente o consumo energético relativo a iluminação costuma ser pouco significativo comparando com o bombeamento e por isso pode ser desprezado)</p>	elevada
Outras estimativas com base em cálculos usando o número de horas de operação	baixa
Valores extrapolados com base no funcionamento de bombas com variadores de frequência	baixa

Custo de substituição do equipamento e nível de rendimento satisfatório

O último conjunto de informações solicitado ao usuário diz respeito a uma possível intervenção no sistema visando a efficientização. Tal intervenção pode se dar pela troca do equipamento eletromecânico, pela troca da tubulação, pela alteração do padrão de operação, ou qualquer outra modificação que o usuário julgar viável e que conseguir quantificar um custo e um rendimento esperado após sua conclusão. Uma opção frequente costuma ser a substituição do equipamento eletromecânico por equipamento mais eficiente.

A Planilha ProEESA-CEN pede duas informações sobre a intervenção nas colunas Y, e Z, respectivamente: o custo total da intervenção em R\$ e o rendimento esperado após a intervenção em (%). A Tabela 8 apresenta um exemplo de preenchimento.

Tabela 8 - Exemplo de preenchimento do custo de intervenção no sistema e do rendimento esperado

Dados Base		Intervenção no Sistema	
Código	Estação elevatória	Custo total da intervenção [R\$]	Rendimento esperado após a intervenção [%]
A	Captação 1	120.000	66
B	Captação 2	15.000	68
C	Elevatória de Água 1	40.000	72
D	Elevatória de Água 2	24.000	80
E	Booster Zona Alta	7.500	64

5. Cálculo do Rendimento

Cálculo do CEN [kWh/(m³x100m)]

O cálculo do Consumo Específico Normalizado é feito na Planilha ProEESA-CEN, apresentando o resultado em [kWh/(m³x100m)]. Adicionalmente, são apresentados o fator de uniformização em m³x100m e o rendimento equivalente em (%). A seguinte tabela mostra os resultados obtidos para os dados exemplificados no preenchimento da planilha.

Tabela 9 - Resultados do exemplo de preenchimento

Dados Base		Conjunto Moto-Bomba Atual			Cálculo da Eficiência Atual		
Código	Estação elevatória	Tipo de motor	Qtde. bombas operação simult.	Potência de cada motor [kW]	Fator de uniformização [m³x100m]	CEN [kWh/m³/100m]	Rendimento [%]
A	Captação 1	externo	3	367,5	11.187.482,9	0,416	65,4 ± 5
B	Captação 2	externo	1	36,75	227.079,2	0,940	29,0 ± 5
C	Elevatória de Água 1	externo	2	147	395.611,0	0,357	76,3 ± 14
D	Elevatória de Água 2	submerso	2	73,5	41.600,0	1,250	21,8 ± 7
E	Booster Zona Alta	externo	1	14,7	45.240,0	3,316	8,2 ± 4

Cálculo da Incerteza do Rendimento

O erro associado ao resultado obtido de rendimento é calculado levando em consideração os erros associados a cada um dos dados de entrada, sendo eles:

- Erro do Volume elevado,
- Erro da Altura Manométrica e
- Erro do Consumo de Energia.

De acordo com a Teoria da Propagação de Erros, o erro δ_f associado ao resultado de uma função f com n variáveis e n erros δ_i associados é dado por:

Equação 4 - Propagação geral de erros

$$\delta_f = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial i} \delta_i\right)^2}$$

Onde:

- f é uma função linear;
- δ_f é o erro associado ao resultado da função f ;
- i é uma variável qualquer da função f ;
- δ_i é o erro associado à variável i ; e
- n é o número de variáveis da função f ;

Para estimar o erro associado ao rendimento $R[\%]$, é preciso aplicar a função R , que define o rendimento a partir de $V[m^3]$, $H[m]$ e $E[kWh]$, à Equação 4. A função R é dada pela fórmula:

$$R[\%] = 0,2725 \times \frac{VH}{E}$$

Aplicando a fórmula acima à Equação 4, obtém-se:

$$\delta_R = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial V} \delta_V\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial H} \delta_H\right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial E} \delta_E\right)^2}$$

$$\delta_R = \sqrt{\left(0,2725 \times \frac{H}{E} \times \delta_V\right)^2 + \left(0,2725 \times \frac{V}{E} \times \delta_H\right)^2 + \left(0,2725 \times \frac{VH}{E^2} \times \delta_E\right)^2}$$

Onde:

- δ_R é o erro associado ao rendimento (%);
- V é o volume elevado no período de referência (m^3);
- δ_V é o erro associado ao volume elevado no período de referência (m^3);
- H é a altura manométrica média em bombeamento (m);
- δ_H é o erro associado à altura manométrica média em bombeamento (m);
- E é a energia consumida no período de referência (kWh);
- δ_E é o erro associado à energia consumida no período de referência (kWh);

A equação acima é aplicada na Planilha ProEESA-CEN, onde é calculado o erro do rendimento percentual.

6. Análise do Rendimento

O rendimento obtido a partir do CEN é, no âmbito desta metodologia, um pré-diagnóstico do nível de eficiência do sistema de bombeamento. Estes resultados devem ser encarados como orientadores para decisões preliminares e não para decisões definitivas sobre investimentos ou intervenções de elevado valor. No caso destas últimas medidas, faz-se necessária uma verificação precisa *in loco* a fim de determinar o rendimento real do conjunto elevatório e do potencial de economia.

Avaliação do Desempenho

O desempenho do sistema é avaliado a partir do rendimento encontrado e da confiabilidade deste resultado. A Planilha ProEESA-CEN possui uma aba auxiliar “Rendimento esperado” onde se encontram valores de rendimento a partir dos quais se considera satisfatório, mediano ou insuficiente, a depender do tipo de motor e da potência instalada. Estes valores são fruto de pesquisa pelo ProEESA a partir de dados estatísticos levantados NOM-006-ENER-2015³.

A seguinte tabela mostra as avaliações conferidas aos vários rendimentos de conjuntos moto-bomba com motor externo de acordo com o seu intervalo de potência.

Tabela 10 - Critério de avaliação do rendimento dos conjuntos moto-bomba com motor externo

Intervalo de potências (kW)		Valores sem credibilidade (%)	Rendimento insuficiente e baixa confiabilidade (%)	Rendimento insuficiente (%)	Rendimento mediano (%)	Bom rendimento (%)	Bom rendimento, mas baixa confiabilidade (%)	Valores sem credibilidade (%)
de	a							
5,6	15,7	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 52%	de 52% a 64%	de 64% a 83%	de 83% a 120%	superior a 120%
15,7	38	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 56%	de 56% a 68%	de 68% a 83%	de 83% a 125%	superior a 125%
38	96	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 60%	de 60% a 72%	de 72% a 83%	de 83% a 131%	superior a 131%
96	261	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 64%	de 64% a 72%	de 72% a 83%	de 83% a 131%	superior a 131%

A seguinte tabela mostra as avaliações conferidas aos vários rendimentos de conjuntos moto-bomba com motor submersível de acordo com o seu intervalo de potência.

³ Norma Oficial Mexicana 006 de la Secretaría de Energía. Eficiencia energética electromecánica en sistemas de bombeo para pozo profundo en operación. Límites y método de prueba. (México, 2015)

Tabela 11 - Critério de avaliação do rendimento dos conjuntos moto-bomba com motor submersível

Intervalo de potências (kW)		Valores sem credibilidade (%)	Rendimento insuficiente e baixa confiabilidade (%)	Rendimento insuficiente (%)	Rendimento mediano (%)	Bom rendimento (%)	Bom rendimento, mas baixa confiabilidade (%)	Valores sem credibilidade (%)
de	a							
5,6	15,7	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 35%	de 35% a 50%	de 50% a 55%	de 55% a 79%	superior a 79%
15,7	38	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 47%	de 47% a 57%	de 57% a 62%	de 62% a 89%	superior a 89%
38	96	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 57%	de 57% a 62%	de 62% a 67%	de 67% a 96%	superior a 96%
96	261	Inferior a 16%	de 16% a 20%	de 20 a 59%	de 59% a 63%	de 63% a 68%	de 68% a 98%	superior a 98%

Proposta de intervenção operacional

Com base nos critérios de avaliação anteriormente referidos se avalia o desempenho da instalação elevatória e se recomenda as seguintes intervenções, conforme a seguinte tabela:

Tabela 12 - Exemplo de avaliação de desempenho do rendimento

Dados Base		Avaliação da Situação Atual	
Código	Estação elevatória	Desempenho da estação elevatória	Intervenção recomendável
A	Captação 1	Desempenho mediano	Agendar manutenção
B	Captação 2	Desempenho insuficiente	Realizar manutenção
C	Elevatória de Água 1	Bom desempenho	OK
D	Elevatória de Água 2	Desempenho insuficiente e baixa confiabilidade	Provável necessidade de manutenção, mas antes rever coleta de dados
E	Booster Zona Alta	Valor sem credibilidade	Refazer coleta de dados

7. Potencial de Economia

O potencial de economia depende da meta do rendimento esperado após a intervenção conforme a proposta constante na seguinte tabela.

No entanto, o utilizador é livre de optar por rendimentos superiores que considere mais adequados e que resultem da sua experiência. Recomenda-se, porém, usar abaixo dos valores indicados pelos fabricantes de motobombas pois esses são obtidos em condições laboratoriais. Em situações de campo dificilmente se replicam condições laboratoriais totalmente controláveis e conhecidas.

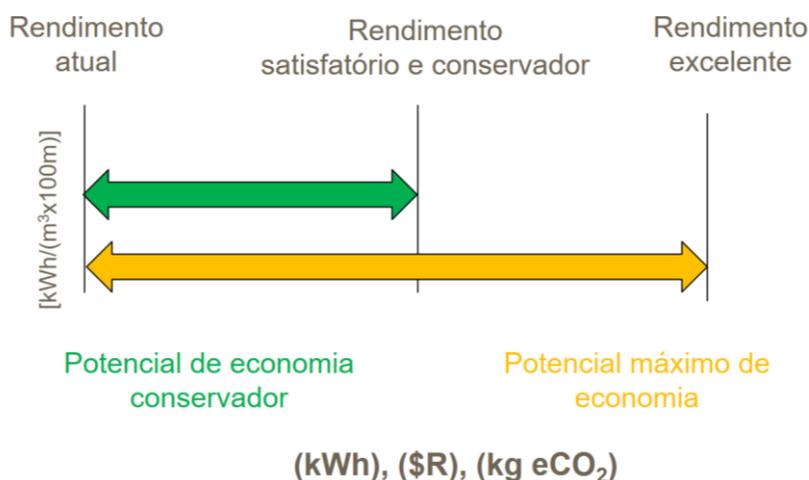
Tabela 13 - Rendimentos dos conjuntos moto-bomba correspondentes a eficiências satisfatórias

Intervalo de potências (kW)		Rendimentos para conjuntos com motor externo (%)	Rendimentos para conjuntos com motor submersível (%)
de	a	(valor conservador)	(valor conservador)
5,6	15,7	64%	50%
15,7	38	68%	57%
38	96	72%	62%
96	261	72%	63%

Deliberadamente, não se optou por melhores rendimentos, ainda que fossem atingíveis, e utilizou-se eficiências mais conservadoras para dar mais segurança à estimativa de retorno do investimento pelo cálculo do *payback* das medidas de substituição das bombas.

A seguinte figura mostra o intervalo relativo ao potencial de economia com base no rendimento atual e os níveis de rendimento satisfatório e excelente.

Figura 5 – Cálculo do potencial de economia



Consumo de Energia

Para calcular o potencial de economia em termos de energia se realizam os seguintes cálculos:

Equação 5 - Fórmula do potencial de economia de energia

$$P_E (kWh) = \Delta \times V \times \frac{H}{100}$$

Onde:

- P_E é o potencial de economia de energia em (kWh)
- Δ é a diferença entre eficiência atual e eficiência satisfatória em [kWh/(m³x100m)];
- V é o volume total de água elevado no período de referência em m³;
- H é a altura manométrica média para o período de referência.

Exemplificando:

Para um conjunto moto-bomba com 74,6 kW de potência e trabalhando com 58,3% de eficiência foram realizados os seguintes cálculos:

- Eficiência atual: 58,3% = 0,467 kWh/(m³x100m); Eficiência satisfatória: 72% = 0,378 kWh/(m³x100m);
- Diferencia entre eficiência atual e eficiência satisfatória = 0,467 - 0,378 = 0,089 kWh/(m³x100m);
- Volume bombeado em um mês = 86.573m³/mês; Altura manométrica = 107,24 mca;
- Potencial de economia (kWh) = 0,089 kWh/(m³x100m) x 86.573m³ x 107,24 mca / 100 = 8.263 kWh/mês.

Custos com Energia

Para calcular o potencial de economia em termos de custos se realizam os seguintes cálculos:

Equação 6 - Fórmula do potencial de economia de custos

$$P_C(R\$) = P_E \times T_m$$

Onde:

- P_E é o potencial de economia de energia em (kWh)
- T_m é a tarifa média de energia em (R\$/m³)

Exemplificando:

Para um potencial de economia de energia de 8.263 kWh/mês com uma tarifa média de 0,292 R\$/kWh, o potencial de economia é de 2.413 R\$/mês e 28.953 R\$/kWh por ano.

Emissões de Gases de Efeito de Estufa

Este cálculo é relevante para entidades que têm que alinhamento com a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima conhecido também como o Acordo de

Paris sobre o Clima - Dez2015. O cálculo permite determinar as emissões de dióxido de carbono sempre que a energia seja gerada com base na matriz energética nacional.

A redução de emissões de gases de efeito de estufa se calcula do seguinte modo:

Equação 7 - Fórmula do potencial de economia de gases de efeitos de estufa

$$P_e(R\$) = P_E \times E_{CO_2}$$

Onde:

- P_e é o potencial de economia de energia em (kWh)
- E_{CO_2} é a quantidade de gás CO_2 emitida para gerar um kWh a tarifa média de energia em ($\$/m^3$)

A emissão específica de gases de efeitos de estufa no Brasil deve ser consultada no anualmente Balanço Energético Nacional realizado pela Empresa de Pesquisa Energética. Este valor varia em função da matriz energética usada para produzir a energia necessária em cada país e compõe-se de componentes de energia renovável, combustíveis fósseis e nuclear.

Exemplificando:

Para um potencial de economia de energia de 8.263 kWh/mês com emissões de 0,082 kg CO_2e/kWh (valor de 2015) o potencial de economia é de 677 kg CO_2e/kWh por mês e 8.131kg CO_2e/kWh por ano.

Análise de Confiabilidade

O potencial de economia deve ser interpretado conjuntamente com a confiabilidade da informação fornecida.

O método é extremamente confiável e exato para prestadores de serviço que possuem informações individualizadas sobre os seus conjuntos moto-bomba (altura manométrica, volume bombeado, energia consumida, valor de compra). Para instalações com menos exatidão ou falta de valores o método trabalha com níveis de confiabilidade.

Aplicando a Equação 4 - Propagação geral de erros à Equação 6 - Fórmula do potencial de economia de custos pode-se determinar a certeza da economia mensal esperada através de uma melhoria no rendimento eletromecânico.

Exemplificando:

Um conjunto moto-bomba (Caso D da planilha ProEESA-CEN) com 73,5 kW de potência, trabalha com 21,8%. Os dados de base incluem uma incerteza de

- 30% no volume de água,
- 5% na altura manométrica e
- 2% no consumo de energia.

O potencial econômico é de R\$1.842,00/mês. A incerteza associada dos dados faz com que o potencial de economia possa ser + ou - R\$ 320,00.

Quando o potencial de economia for considerável e a incerteza elevada, vale a pena averiguar melhores informações para confirmar esse nível de economia.

8. Priorização nas intervenções

Neste capítulo se priorizam as estações elevatórias com necessidades de intervenções de manutenção preventiva e a substituição do equipamento.

Habitualmente a prioridade de investimento não coincide com a prioridade de ações de manutenção do equipamento. Esse fato se deve à relação do valor de reposição e ao potencial de economia.

Ações de manutenção preventiva nos equipamentos

Após cálculo do potencial de economia mensal (R\$) para todas as estações elevatórias deve-se ordenar as instalações elevatórias pelo maior potencial de economia. Onde este for maior ser priorizada ações de manutenção para restaurar o nível de rendimento adequado.

Frequentemente pequenas medidas de manutenção ou de operação reestabelecem o rendimento ótimo dos conjuntos motobombas.

A seguinte tabela mostra 11 estações elevatórias (A-L) ordenadas pelo seu potencial de economia e indica a intervenção sugerida. Mostra também o rendimento atual assim como desejável. As três estações elevatórias com maior prioridade de manutenção são H, D e F.

Tabela 14 - Priorização de intervenções de manutenção com base no potencial de economia

Prioridade de manutenção	Estação elevatória	Rendimento em 2016	Rendimento mínimo desejável	Potencial de economia mensal (kWh)	Intervenção
1	H	46%	72%	56.905	Requer manutenção e recolha de melhores dados
2	D	53%	72%	20.467	Requer manutenção
3	F	43%	72%	14.777	Requer manutenção e recolha de melhores dados
4	J	22%	57%	9.294	Requer manutenção
5	C	28%	57%	8.777	Requer manutenção e recolha de melhores dados
6	B	17%	64%	5.062	Requer manutenção e recolha de melhores dados
7	I	56%	68%	1.617	Requer manutenção e recolha de melhores dados
8	G	49%	50%	118	Requer manutenção
9	A	88%	72%	Não aplicável	Não requer manutenção
10	E	104%	72%	Não aplicável	Não requer manutenção
11	K	88%	57%	Não aplicável	Não requer manutenção
	L		57%		Não requer manutenção

Ações de substituição de equipamentos

Usando valor de da intervenção necessária para restaurar um rendimento aceitável (sendo frequentemente a substituição do equipamento atual) e o potencial de economia mensal (\$R), calcula-se o *payback* simples. Para *paybacks* inferiores a 5 anos (60 meses), considera-se que deve ser realizada a intervenção prevista. Considerando que os recursos financeiros são escassos, as prioridades de substituição devem ir para os equipamentos com menores *paybacks*.

Para calcular o *payback* simples da substituição de um equipamento eletromecânico se realizam os seguintes cálculos:

Equação 8 - Fórmula do *payback* simples da substituição de um equipamento eletromecânico

$$p \text{ (meses)} = \Delta x V x \frac{C}{P_c(R\$)}$$

Onde:

- p é o *payback* simples em (meses)
- C é o custo total da intervenção que permite restaurar a eficiência energética em (R\$);
- P_c é o potencial de economia em (\$R/mês);

A seguinte tabela mostra as mesmas 11 estações elevatórias (A-L) ordenadas pelo seu *payback* e indica a intervenção sugerida. Mostra também a confiabilidade do *payback* explicada no capítulo seguinte.

Se pode reparar que a prioridade de substituição – estações B, C e J não coincide com a prioridade de manutenção – estações H, D e F.

Tabela 15 - Priorização de intervenções de substituição com base no *payback*

Prioridade de intervenção	Estação elevatória	Valor de substituição (R\$)	<i>Payback</i> (meses)	Confiabilidade do <i>payback</i>	Intervenção
1	B	6.574	2,6	★★	Avaliar a substituição do equipamento e recolha de melhores dados
2	C	44.326	10,1	★★	Avaliar a substituição do equipamento e recolha de melhores dados
3	J	66.490	12,1	★★★★	Avaliar a substituição do equipamento
4	D	188.544	12,8	★★	Avaliar a substituição do equipamento e recolha de melhores dados
5	H	360.000	13,5	★★	Avaliar a substituição do equipamento e recolha de melhores dados
6	F	399.000	46,5	★★	Avaliar a substituição do equipamento e recolha de melhores dados
7	I	90.000	119,1	★★	Avaliar a substituição do equipamento e recolha de melhores dados
8	G	66.490	1.203,1	★★	Recolha de melhores dados
-	E	388.810	-	★★	Requer recolha de melhores dados e recolha de melhores dados

-	A	295.200	-	★★	Nenhuma
-	K	70.507	-	★★	Nenhuma
	L	70.507	-		

Análise de Confiabilidade do *payback*

Como a substituição de equipamentos envolve níveis de investimento significativos, deve ser tido em conta a confiabilidade da informação. A realização de investimentos avultados deve ser precedida de estudos e auditorias em campo para uma maior segurança do retorno económico.

Para a facilitar uma leitura da confiabilidade do *payback* foi desenvolvida uma classificação de estrelas conforme seguinte tabela:

Tabela 16 – Classes de confiabilidade do *payback* expressa em estrelas

Nível de confiança do <i>payback</i>	Avaliação da confiança
Elevado – o erro associado é inferior a 20%	★★★
Mediano – erro associado maior ou igual que 20% e inferior a 40%	★★
Baixo - erro associado é maior ou igual que 40% e inferior a 100%	★
Sem classificação – erro associado superior a 100%	-

A confiabilidade do *payback* se determina usando o desvio padrão e o *payback* esperado, conforme a seguinte equação:

Equação 9 - Fórmula da confiabilidade do *payback*

$$C_{\text{payback}} = \frac{D_{\text{payback}}}{P_e} \times 100$$

e

$$D_{\text{payback}} = \sqrt{\frac{(P_{\text{max}} - P_e)^2 + (P_{\text{min}} - P_e)^2}{2}}$$

Onde:

- C_{payback} é a confiança do *payback* em (%)
- D_{payback} é o desvio padrão do *payback* em (meses)
- P_{max} é o *payback* máximo em (meses);
- P_{min} é o *payback* mínimo em (meses);
- P_e é o *payback* esperado em (meses);

Exemplificando:

Para um conjunto moto-bomba (Caso D da planilha ProEESA-CEN) com um potencial de economia de R\$1.842,00 por mês e um custo de investimento de R\$24.000,00, o *payback* simples é de 14 meses.

Como o potencial de economia esperado é 1842 R\$ (+-R\$320,00) a economia pode assumir valores entre R\$2.162,00 e R\$1.522,00. Este intervalo tem consequências no *payback* real podendo situar-se entre 11 ou 16 meses. Calculando a confiança do *payback* temos

$$D_{\text{payback}} = \sqrt{\frac{(15,8 - 13,0)^2 + (11,1 - 13,0)^2}{2}} = 2,37 \text{ meses}$$

e

$$C_{\text{payback}} = \frac{2,37}{13,0} \times 100 = 18\%$$

A intervenção com um custo de 24.000R\$ tem uma confiabilidade de ★★★.

9. Bibliografia

ALEGRE, H., HIRNER, W., BAPTISTA, J.M. e PARENA, R. (2000). **Performance indicators for water supply services**. *International Water Association*. Londres, Reino Unido.

Tradução e adaptação para o português: DUARTE, P., ALEGRE, H. e BAPTISTA, J.M. (2004). **Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água**. Instituto Regulador de Águas e Resíduos/Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, Portugal.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (2017). **Glossário de Indicadores - Água e Esgotos 2016**. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Brasília, DF.

CAVALEIRO R., POSSETTI, G., NETO, J., SILVEIRA, A, LIMA, J. Artigo - XII-013 Método para monitoramento e pré-diagnóstico das eficiências eletromecânica e hidroenergética de sistemas elevatórios de água – ABES-FENASAN (out. 2017)

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanço Energético Nacional: Ano Base 2014**. 2015. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2015.pdf>. Acesso em: 26 mai. 2017.

OLIVARES, R., FERREIRA, R. C., ALCOCCER-YAMANAKA, V., RODRIGUEZ, P. H. **Informe de la iniciativa CEEPA 2014: Resultados de conjunto**. (2015). Disponível em: <<http://www.aneas.com.mx/contenido/InfBMCEEPA2014.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2017.

PAPA, F., RADULJ, D., KARNEY, B., ROBERTSON, M. Pump energy efficiency field testing and benchmarking in Canada. **Journal of Water Supply: Research and Technology**. v. 7, n. 63: 570-577, 2014.