



Projetos de Eficiência Energética em Saneamento

Guia auxiliar para os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE da ANEEL

Versão abril 2019

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

Título: Projetos de Eficiência Energética em Saneamento - Guia auxiliar para os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE da ANEEL

Elaborado por: AKUT Umweltschutz Ingenieure Burkard und Partner

USt-ID DE 227 840 440

Autores: Jonas Gonçalves; Rita Cavaleiro de Ferreira

Revisão Jessica Rocha Gama

Contribuições especiais: ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, Corsan – Companhia Riograndense de Saneamento, RS; Daev - Departamento de Águas e Esgoto de Valinhos, SP; EDP Energias do Brasil; Eletrobrás Rondônia; ENERENGE, SP; Saae - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Cacoal, RO; Sabesp - Companhia de Saneamento Básico de São Paulo, SP; Samae – Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto de Caxias do Sul, RS e Saneago - Saneamento de Goiás, GO, rotária do Brasil, SC, Sanepar - Companhia de Saneamento do Paraná, PR, SEG – Serviços de Eficiência Energética.

Adroaldo Resendes Kulmann Junior; Alexandre Gomes de Souza; Carolina Cabral, Cassio Augusto Maldonado dos Santos; Celso Haguiuda; Carlos Eduardo Barreira Firmeza de Brito, Eduardo Moreira; Giancarlo Lupatini, Gustavo Rucks; Ildelfonso Dorizete e Silva Madruga; Julian Villelia Padilla; Márcio Custódio de Oliveira; Newmar Spader; Sergio Luiz Gatti, Ricardo Rogério Gardin e Ricardo Rover Machado.

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).

Marcelo de Paula Lelis, Coordenador Geral de Planejamento e Regulação, Secretaria Nacional de Saneamento, Ministério do Desenvolvimento Regional.

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.

Sumário Executivo	9
<i>Siglas e Acrônimos</i>	10
1. Introdução	11
Descrição do Guia	11
2. Programa de Eficiência Energética - PEE	13
2.1. Antecedentes	13
2.2. Agentes envolvidos	14
2.3. Documentação base	15
<i>Procedimentos - PROPEE</i>	15
<i>Guia Prático de Chamadas Públicas do PEE para Proponentes</i>	17
3. Projetos típicos de eficiência energética em saneamento	18
3.1. Reabilitação ou substituição de motor-bombas	18
<i>Determinação da situação atual</i>	19
<i>Determinação do sistema proposto</i>	22
<i>Resultados esperados</i>	25
3.2. Utilização de inversores de frequência	27
<i>Determinação da situação atual</i>	28
<i>Determinação do sistema proposto</i>	31
<i>Resultados esperados</i>	34
3.3. Redução de perdas de água e do volume bombeado	36
<i>Determinação da situação atual</i>	37
<i>Determinação do sistema proposto</i>	40
<i>Resultados esperados</i>	43
3.4. Aumento do volume reservado – Redução de demanda na ponta	45
<i>Determinação da situação atual</i>	46
<i>Determinação do sistema proposto</i>	49
<i>Resultados esperados</i>	53
3.5. Outras medidas de eficiência energética	54
<i>Diversas medidas de redução das perdas de carga</i>	54
<i>Alteração na disposição do sistema de abastecimento</i>	55
<i>Instrumentação e automação</i>	56
<i>Aeração mais eficiente em estações de tratamento de esgoto</i>	57
<i>Redução de consumo de água pelo usuário</i>	57
4. Itens básicos para elaboração de projetos	57
4.1. Relação custo - benefício	60
<i>Cálculo da relação custo-benefício</i>	61
<i>Custo anualizado</i>	62
<i>Benefício anualizado</i>	62
4.2. Medição e Verificação de desempenho	65
<i>Fundamentos da M&V</i>	65
<i>Fases da M&V</i>	66
<i>Estimativa Ex-Ante</i>	67
<i>Estratégia de M&V e opções PIMVP</i>	67

<i>Cálculo das Economias</i>	69
<i>Medições do Período de Referência (Linha de Base)</i>	69
<i>Plano de M&V</i>	70
<i>Medições do período de determinação da economia</i>	70
<i>Estimativa Ex-Post</i>	70
<i>Relatório de M&V</i>	71
<i>Validação da M&V</i>	71
<i>Avaliações de longo prazo</i>	71
<i>Incerteza aceitável</i>	71
<i>Ajustes da linha de base</i>	72
4.3. Especificidades de M&V em projetos de saneamento	72
<i>i) Troca de conjunto motobomba com melhor rendimento em uma estação elevatória e / ou instalação de inversor de frequência</i>	74
<i>ii) Troca de conjunto motobomba e/ou colocação de inversor de frequência integrados em ETE ou ETA</i> 75	
<i>iii) Aeração mais eficiente em estações de tratamento de esgoto</i>	76
<i>iv) Evitar o uso de energia em horas de ponta em diversas operações unitárias (redução esperada de demanda >10%)</i>	78
<i>v) Evitar o uso de energia em horas de ponta em diversas operações unitárias (redução esperada <10%)</i> 79	
<i>vi) Redução de vazamentos por redução de pressão na rede de distribuição</i>	80
<i>vii) Redução de vazamentos por reabilitação de ramais de ligação e extensão de rede</i>	83
<i>viii) Redução de vazamentos por redução do tempo de reparação de rede, ramais e cavaletes</i>	85
<i>ix) Alterações no layout do sistema de distribuição</i>	86
<i>x) Redução de perda de carga em barriletes, adutoras e outros pontos do sistema</i>	87
<i>xi) Medição individualizada de consumos de água em condomínios</i>	89
<i>xii) Campanha de sensibilização e informação para redução de consumo de água</i>	90
4.4. Outras Ações Integrantes de Projeto - PEE	92
<i>Treinamento e capacitação</i>	92
<i>Descarte de equipamentos</i>	93
<i>Comunicação e publicidade</i>	93
5. Bibliografia	94
ANEXO I – PLANO DE M&V	96
ANEXO II - Exemplos de cálculo de RCB	107
RCB de ação individual troca de iluminação.....	107
<i>Cálculo de energia e demanda no sistema atual</i>	107
<i>Cálculo de energia e demanda no sistema proposto</i>	108
<i>Cálculo do fator de recuperação de capital</i>	108
<i>Cálculo do custo anualizado</i>	109
<i>Cálculo do benefício anualizado</i>	109
<i>Cálculo do RCB – Iluminação</i>	109
RCB de ação individual de troca de conjunto motobomba.....	109
<i>Cálculo do fator de recuperação de capital</i>	110
<i>Cálculo do custo anualizado</i>	110
<i>Cálculo do benefício anualizado</i>	110

<i>Cálculo do RCB – troca de conjunto motobomba e instalação de inversor</i>	110
RCB de ação individual de redução de pressão	110
<i>Cálculo do fator de recuperação de capital</i>	111
<i>Cálculo do custo anualizado</i>	111
<i>Cálculo do benefício anualizado</i>	111
<i>Cálculo do RCB – redução de pressão</i>	111
RCB global – conjunto das ações de eficiência energética	112
<i>Cálculo do RCB – conjunto de medidas</i>	112
ANEXO III - ESTUDOS DE CASOS	113
Estudo de caso – Redução de perdas de água	113
<i>Enquadramento</i>	113
<i>Situação atual</i>	114
<i>Situação proposta</i>	116
<i>Resultados esperados</i>	118
<i>Recomendação para Plano de M&V</i>	119
Estudo de Caso DAEV – Iluminação, ar-condicionado e sistema de gestão de reparação de vazamentos – redução de perdas de água	119
<i>Enquadramento</i>	119
<i>Descrição da Ação de eficiência energética</i>	119
<i>Estratégia de M&V</i>	122
<i>Metas e benefícios por uso final</i>	125
<i>Cálculo da Relação Custo Benefício</i>	128
Estudo de caso Saneago - Inversores de frequência em estação elevatória.....	130
<i>Enquadramento</i>	130
<i>Descrição da Ação de eficiência energética</i>	130
<i>Resultados esperados</i>	133

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Projetos para Poder Público e Serviços Públicos via PEE	17
Tabela 2 - Sistema Atual - Reabilitação ou substituição de motor-bombas.	19
Tabela 3 - Sistema Proposto - Reabilitação ou substituição de motor-bombas.	22
Tabela 4 – Resultado Esperado - Reabilitação ou substituição de motor-bombas	26
Tabela 5 – Sistema Atual – Inversores de frequência	28
Tabela 6 – Sistema Proposto – Inversores de frequência.	31
Tabela 7 – Resultado Esperado – Inversores de frequência.	34
Tabela 8 – Sistema Atual - Redução de perdas de água;	37
Tabela 9 – Sistema Proposto - Redução de perdas de água.	40
Tabela 10 – Resultado Esperado - Redução de perdas de água.	43
Tabela 11 - Sistema Atual- Aumento do Volume Reservado.	46
Tabela 12 - Sistema Proposto - Aumento do Volume Reservado.	49
Tabela 13 – Resultados Esperados- Aumento do Volume Reservado.....	53
Tabela 14 - Cronograma Físico.....	58
Tabela 15 - Cronograma Financeiro.	59
Tabela 16 - Custos por Categoria Contábil e Origens dos Recursos.	59
Tabela 17 – Vida útil de materiais e equipamentos, Aneel (2013)	63
Tabela 18 – Vida útil de materiais e equipamentos Energisa (2017)	63
Tabela 19 – Alcance das obras e equipamentos (Gomes et al, 2014)	64
Tabela 20 – Vida útil de materiais e equipamentos (PROCEL SANEAR, 2003)	64
Tabela 21 - Resumo de Ações de Eficiência e Opção PIMVP	73
Tabela 22 – Custos de três ações de eficiência energética	107
Tabela 23 – Resumo das informações do sistema antes das medidas de eficiência	116
Tabela 24 – Resumo das informações do sistema após as medidas de eficiência	117
Tabela 25 – Resumo de resultados esperados	118
Tabela 26 - Comparativo Sistema de Iluminação Atual x Proposto.....	119
Tabela 27 - Comparativo Sistema de ar condicionado Atual x Proposto.	120
Tabela 28 – Informações do sistema antes das medidas de eficiência em iluminação	125
Tabela 29 – Informações do sistema após as medidas de eficiência em iluminação	126
Tabela 30 – Informações do sistema antes das medidas de eficiência em condicionamento ambiental.....	126
Tabela 31 – Informações do sistema após as medidas de eficiência em condicionamento ambiental.....	126
Tabela 32 – Tempos de atendimento a vazamentos visíveis – Situações atual	127
Tabela 33 – Tempos de atendimento a vazamentos visíveis – Situações proposta.....	127
Tabela 34 – Valoração de Energia evitada e demanda evitada	127
Tabela 35 – Redução do consumo de energia elétrica	128
Tabela 36 – Redução da demanda por energia elétrica.....	128
Tabela 37 – Benefício anualizado - Iluminação	128
Tabela 38 – Benefício anualizado – Condicionamento ambiental.....	129
Tabela 39 – Benefício anualizado – Sistema de gestão – correspondente a “outros”	129
Tabela 40 – Tabela de Relação Custo Benefício – por ação individual e global do projeto.....	129
Tabela 41 – Resumo de informações do sistema antes das medidas de eficiência	131
Tabela 42 – Resumo de informações do sistema após as medidas de eficiência	132
Tabela 43 - Resultados Esperados.....	133

Índice de Figuras

Figura 1: Exemplo de histórico de energia (EVO, 2012)	66
Figura 2: Atividades de M&V e fases de projeto (ANEEL, 2013).....	67

Sumário Executivo

Este Guia pretende apoiar os prestadores de serviço a submeterem melhores projetos de eficiência energética ao Programa de Eficiência Energética (PEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), assim como apoiar as concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica a familiarizarem-se com os projetos da área de saneamento.

Os projetos devem ser apresentados para as concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica locais, e elaborados de acordo com as diretrizes estabelecidas na Lei nº 9.991 de 24 de julho de 2000 e na Resolução Normativa nº 830 de 23 de novembro de 2018.

O Guia apresenta projetos típicos de saneamento elegíveis ao PEE seguindo os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE), incentivando o prestador de serviços de água e esgotamento sanitário a ampliar sua carteira de projetos na área da eficiência com um impacto significativo na redução do uso de energia elétrica, assim como dos custos operacionais.

O PROPEE – Módulo 4 foca ações de eficiência energética de iluminação, condicionamento ambiental, sistema motrizes, sistemas de refrigeração, aquecimento solar de água, gestão energética e gestão energética municipal. Não existe uma abordagem específica para redução de perdas de água, ou para melhorias na aeração no tratamento de esgoto. Todas as ações no saneamento têm de ser ajustadas para enquadrar-se nas ações relativas a sistemas motrizes do PROPEE. Por parte do proponente do setor de saneamento isso requer realizar estimativas, cálculos e modelagens prévios para que o resumo das ações de eficiência no saneamento alimente as tabelas dos sistemas motrizes.

Em muitos municípios o prestador de serviço de saneamento é um dos mais relevantes clientes e o potencial de economia por meio da eficiência é significativo, pelo que este setor pode e deve ser especificado nas chamadas públicas das concessionárias ou permissionárias de distribuição de energia elétrica locais.

Tendo em vista as particularidades do saneamento, o Guia traz recomendações específicas para preparação dos projetos e composições de custos a serem apresentados, deixando à disposição uma ferramenta para facilitar a elaboração de eficiência energética para o PEE.

Em especial, destacam-se os projetos de redução de perdas de água que se constituem em medidas que evitam consumo de energia e que por isso devem ser objeto do Programa de Eficiência Energética (PEE). Este potencial de economia é considerável e tem ainda sido pouco explorado. Dentro das várias abordagens para a redução de perdas reais de água, o projeto mais competitivo em termos de Relação Custo Benefício (RCB) costuma ser a setorização das redes, acompanhado de controle de pressões para redução de perdas de água e energia.

Por último, este Guia também serve para orientar prestadores de serviço que queiram estabelecer carteiras de projetos de eficiência internos e ter critérios de priorização (RCB), assim como dispor de metodologias para verificação dos resultados alcançados. A metodologia preconizada pelo PROPEE é adequada para contabilizar energia e demanda evitada, que poderá ser atribuída a Usinas Virtuais de Energia para Sistemas de Saneamento (UVES).

Siglas e Acrônimos

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BDI	Bonificações e Despesas Indiretas
BMZ	Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento da Alemanha
CED	Custo Evitado de Demanda
CEE	Custo Evitado de Energia
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CPFL	Companhia Paulista de Força e Luz
CPP	Chamada Pública de Projetos
EAB	Elevatória de Água Bruta
ESCO	Empresas Serviços de Conservação de Energia Elétrica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETA	Estação de Tratamento de Água
EVO	<i>Efficiency Valuation Organization</i>
FCP	Fator de Coincidência na Ponta
FRC	Fator de Recuperação de Capital
GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH</i> (Cooperação Alemã)
GUIA CPP	Guia Prático para Chamada Pública de Projetos do PEE para Proponentes
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i>
MCA	Metros de Coluna de Água
MCIDADES	Ministério das Cidades (sucedido pelo Ministério de Desenvolvimento Regional)
MDR	Ministério de Desenvolvimento Regional (precedido pelo Ministério das Cidades)
M&V	Medição e Verificação de Resultados
PEE	Programa de Eficiência Energética
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
PLAMGE	Plano de Gestão Municipal de Energia Elétrica
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PM&V	Plano de Medição e Verificação
PNE	Plano Nacional de Energia
PROCEL	Programa de Conservação de Energia Elétrica da Eletrobrás
ProEESA	Projeto de Eficiência Energética no Abastecimento de Água
PROPEE	Procedimentos do Programa de Eficiência Energética
RCB	Relação Custo Benefício
SGPEE	Sistema de Gestão do Programa de Eficiência Energética
SIEM	Sistema de Informação Energética Municipal
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SGPEE	Sistema de Gestão de Eficiência Energética
SNS	Secretaria Nacional de Saneamento

1. Introdução

A Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), que sucedeu o Ministério das Cidades do Brasil (MCIDADES) e o Ministério Federal da Cooperação Econômica e do Desenvolvimento (BMZ) da Alemanha cooperam no projeto de **Eficiência Energética no Abastecimento de Água – ProEESA**. A coordenação do parceiro alemão está a cargo da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável - *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)*, sendo a entidade executora o consórcio AKUT/SKAT.

O **ProEESA** atua na melhoria das condições para implantação de medidas nas entidades prestadoras de serviço, com o intuito de aproveitar o potencial de poupança existente nos sistemas de abastecimento. O objetivo central do projeto é proporcionar reduções significativas nas despesas de eletricidade, nos consumos energéticos e nas perdas de água, melhorando a conservação das redes de distribuição e das instalações de bombeamento.

Dentre os objetivos do **ProEESA**, figuram:

- Facilitar o acesso às linhas de financiamentos ou instrumentos de fomento de projetos de eficiência energética para o setor de saneamento.
- Desenvolver ferramentas para avaliação de potenciais de eficiência energética.
- Incentivar iniciativas de eficiência energética em sistemas de abastecimento de água.
- Melhorar o uso e a qualidade de instrumentos para o desenvolvimento da eficiência energética nos sistemas de abastecimento de água.

Tendo esses objetivos em vista, o presente documento tem por função disponibilizar para as empresas prestadoras de serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário do país, um manual autoexplicativo e de fácil entendimento para preparação de projetos de eficiência energética a serem apresentados para a Concessionária ou Permissionária de Distribuição de Energia local, com vistas a financiar o projeto através dos recursos disponíveis no fundo do Programa de Eficiência Energética (PEE) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Descrição do Guia

Este documento está estruturado em uma sequência lógica que começa pelo entendimento do Programa de Eficiência Energética regulamentado pela Aneel, passa pelos principais aspectos que envolvem a elaboração de um projeto de eficiência energética em serviços de saneamento chegando até a apresentação de casos reais de projetos efetivamente redigidos e escutados no âmbito do PEE-ANEEL. Dessa forma, espera-se que o prestador de serviços de saneamento possa receber as informações necessárias para planejar, elaborar e submeter seus projetos às respectivas distribuidoras de energia elétrica.

No capítulo 2, o leitor terá uma visão dos aspectos históricos e legais que deram origem ao PEE-ANEEL. Neste capítulo é possível perceber onde o setor de saneamento se encaixa no programa e conhecerá a estrutura básica de um projeto de eficiência energética. Redigido o projeto ele deve ser submetido à chamada pública de projetos onde os mais bem colocados obtêm o acesso aos recursos financeiros disponíveis. Nesse sentido, a leitura do Guia Prático de Chamadas Públicas do PEE para Proponentes é um importante passo para a redação de um projeto vencedor.

No capítulo 3 faz-se uma correlação entre projetos típicos de eficiência energética em sistemas de saneamento e as tipologias de projetos que aparecem no Procedimentos do Programa de

Eficiência Energética (PROPEE) Módulo 4, de tal sorte a aproximar os projetos da linguagem do PROPEE facilitando a comunicação entre os setores de saneamento e de distribuição de energia elétrica. São sugeridos modelos de cálculo de energia economizada e de demanda retirada da ponta em projetos de reabilitação ou substituição de motor-bombas, melhoria de carga através de inversores de frequência, redução de perdas de água e do volume bombeado e aumento do volume reservado. Também se mostra outras medidas.

No quarto capítulo apresentam-se os itens básicos que compõem a elaboração de projetos, nomeadamente a estrutura mínima de um projeto de eficiência energética recomendada pelo PROPEE-Aneel. Entretanto, deve o proponente de um projeto de eficiência energética observar que há requisitos adicionais nos editais de chamada pública de projetos. O principal requisito de um projeto é dissecado no subcapítulo 4.1. A RCB – Relação Custo Benefício determina a viabilidade de um projeto de eficiência energética sob a ótica do setor elétrico brasileiro. É também o item de maior peso na classificação dos projetos submetidos. Os subcapítulos 4.2 e 4.3 abordam a Medição e Verificação do Desempenho de um projeto. Em 4.2. replica-se os conceitos do PROPEE e em 4.3 fazem-se considerações específicas sobre M&V de projetos de saneamento. Em 4.3 fazem-se referência as demais ações que obrigatoriamente compõem os projetos do PEE-ANEEL. São ações de treinamento e capacitação, divulgação e marketing e descarte de materiais, por exemplo.

O Anexo I mostra um template de um Plano de Medição e Verificação, enquanto no Anexo II apresentam-se exercícios práticos de cálculo de RCB em um projeto com múltiplas ações de eficiência energética.

Por fim, no Anexo III o documento apresenta casos práticos e reais de projetos de saneamento realizados no âmbito do PEE-Aneel. Nesse ponto cabe um agradecimento especial aos prestadores de serviços que forneceram seus relatórios de projetos: Saneago – Saneamento de Goiás e Daev – Departamento de Águas e Esgotos de Valinhos do Estado de São Paulo.

2. Programa de Eficiência Energética - PEE¹

Este capítulo apresenta a descrição do PEE, a legislação que o rege e os Procedimentos do PEE (PROPEE) para melhor entendimento dos prestadores a respeito do programa.

O PEE foi criado pela Lei 9991/2000 que estabeleceu a obrigatoriedade das concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica a aplicarem o montante anual mínimo de 0,50% de sua receita operacional líquida em ações de combate ao desperdício de energia elétrica.

Coube à ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica o papel de regulamentar a aplicação da referida Lei a fim de maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada e transformar o mercado estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de energia elétrica (PROPEE, Módulo 1, 2018). É ainda papel da ANEEL discutir melhor o assunto para alocar da forma mais eficaz os recursos, com vistas a viabilizar o desenvolvimento de projetos de eficiência energética dedicados com equidade às diferentes classes de consumo. Na prática, em um ambiente em que a tendência é de priorizar a oferta, são as ações equilibradas do regulador que devem, no mínimo, não deixar o lado da demanda desprezado, ganhando-se espaços relevantes para a redução do custo da energia. (Revista de Eficiência Energética, ANEEL, 1ª edição, 2013).

2.1. Antecedentes

“Os contratos de concessão firmados pelas empresas concessionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica com a ANEEL estabelecem obrigações e encargos perante o poder concedente. Uma dessas obrigações consiste em aplicar anualmente o montante de, no mínimo, 0,5% de sua receita operacional líquida em ações que tenham por objetivo o combate ao desperdício de energia elétrica, o que consiste no Programa de Eficiência Energética das Empresas de Distribuição (PEE). Para o cumprimento desta obrigação as distribuidoras devem apresentar à ANEEL a qualquer tempo, por meio de arquivos eletrônicos, projetos de Eficiência Energética e Combate ao Desperdício de Energia Elétrica, observadas as diretrizes estabelecidas para a sua elaboração (...). As diretrizes para elaboração dos Programas são aquelas definidas na Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, bem como aquelas contidas nas resoluções da ANEEL específicas para eficiência energética”².

O texto acima define o mecanismo compulsório que mantém o fundo do PEE. Cada concessionária ou permissionária, através da lei supracitada, deve manter uma Conta Contábil de Eficiência Energética.

A Lei nº 13.280³, de 3 de maio de 2016, alterou a Lei nº 9.991/00 a fim de disciplinar a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência energética, determinando que “80% (oitenta por cento) serão aplicados pelas próprias concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica, conforme regulamentos estabelecidos pela Aneel; e 20% (vinte por cento) serão destinados ao Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (Procel), instituído pela Portaria Interministerial nº 1.877, de 30 de dezembro de 1985, e ratificado pelo Decreto de 18 de julho de 1991”.

¹ Adaptado de *Análise de Linhas de Financiamento para Projetos de Eficiência Energética nos Prestadores de Serviços de Saneamento Brasileiros* (Vasconcelos, 2016).

² http://www2.aneel.gov.br/area_cfm?idArea=27&idPerfil=2&idiomaAtual=0

³ http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2015-2018/2016/Lei/L13280.htm

Dessa maneira, a Conta Contábil de Eficiência Energética de cada concessionária é mantida através do depósito mensal compulsório correspondente a **0,4%** da receita operacional líquida, pois 0,1% estão destinados ao PROCEL.

Os projetos de eficiência energética devem ser elaborados conforme as diretrizes estabelecidas na Lei nº 9.991⁴ de 24 de julho de 2000 e na Resolução Normativa nº 830⁵ de 23 de outubro de 2018.

Essa Resolução Normativa aprovou os *Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE)*⁶, que substituiu a versão I do próprio PROPEE que esteve em vigor até a publicação da Resolução Normativa 830/2018.

Para a realização dos projetos, as concessionárias e permissionárias com mercado de energia superior a 1 GWh/ano devem realizar Chamadas Públicas anualmente e os projetos podem ser apresentados por Empresas de Serviços de Conservação de Energia Elétrica (ESCO), fabricantes, comerciantes ou ainda pelos próprios consumidores.

Esses projetos são selecionados por um sistema de qualidade e preço, considerando o disposto no documento Critérios para Elaboração de Chamada Pública de Projetos, elaborado e publicado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL)⁷.

2.2. Agentes envolvidos

Os principais agentes envolvidos nos programas de eficiência energética, por vezes citados nesse guia, são as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica, que têm a obrigação de investirem anualmente os montantes mínimos obrigatórios em programas de eficiência energética, e os organismos de regulação, sendo que a Aneel é responsável por regulamentar e fiscalizar a execução dos programas. Às agências estaduais que possuem convênios com a Aneel, cabe também o papel de fiscalização. Podem acessar os recursos de forma não onerosa ou por meio de contratos de performance⁸ todos os consumidores de energia elétrica, também chamados de clientes das empresas de distribuição. Os projetos podem ser redigidos e executados pelos próprios consumidores, por consultores ou ESCOS - empresas de serviços de eficiência energética. Figuram ainda os fornecedores de materiais e serviços, profissionais certificados em medição e verificação de resultados, empresas de auditoria e instituições financeiras fornecedoras de garantias em contratos de performance.

Esse guia é voltado às autarquias municipais, prestadores de serviços e empresas estaduais de saneamento que também exercem o papel de clientes ou consumidores de energia elétrica, fazendo, portanto, jus aos financiamentos destinados aos projetos de eficiência energética. São também chamadas de empresas proponentes de projetos de eficiência energética uma vez que são elas as empresas que propõem as ações de eficiência energética integrantes dos programas.

Após novembro de 2018, só poderão ser aplicados recursos do **PEE a fundo perdido**⁹ se o projeto estiver classificado nas seguintes tipologias: Poder Público, **Serviços Públicos**

⁴ http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9991.htm

⁵ <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2013556.pdf>

⁶ <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/zip/PROPEEv1.zip>

⁷ <http://www2.aneel.gov.br/>

⁸ Consumidores de energia elétrica que não possuem fins lucrativos podem receber os recursos a fundo perdido. Clientes com fins lucrativos celebram contratos de performance (desempenho).

⁹ Módulo 3 - Seleção e Implantação de Projetos - V02.pdf – Resolução Normativa nº 830/2018 de 02.11.2018

(desde que não haja participação de capital majoritariamente privado), Residencial, Baixa Renda, Educacional, Iluminação Pública e Gestão Energética Municipal. Projetos nas tipologias Comercio e Serviços poderão ser aplicados recursos do PEE a fundo perdido somente em consumidores de caráter essencialmente filantrópico ou assistencial. Para as demais tipologias, é obrigatório firmar Contrato de Desempenho, exceto nos casos previamente analisados pela ANEEL e expressamente autorizados.

2.3. Documentação base

A Aneel mantém atualizados em seu sítio uma série de documentos e regulamentos que dão sustentação ao programa de eficiência energética e orientam todos os agentes envolvidos na sua execução: empresas de distribuição de energia, consumidores, ESCOS, agências de regulação, etc. Recomenda-se aos prestadores de serviços de saneamento o conhecimento de dois dos principais documentos: o PROPEE, composto por 10 módulos que determinam como elaborar, selecionar, implementar, avaliar e fiscalizar os programas de eficiência energética e o **Guia Prático de Chamadas Públicas do PEE para Proponentes** que orientam os consumidores de energia elétrica a elaborarem seus projetos em busca de uma boa colocação nos processos de chamadas públicas de projetos, que são realizadas periodicamente pelas distribuidoras de energia com o objetivo de selecionar os projetos que receberão o aporte dos recursos financeiros dos programas.

Procedimentos - PROPEE

O objetivo do PEE é *“promover o uso eficiente e racional de energia elétrica em todos os setores da economia por meio de projetos que demonstrem a importância e a viabilidade econômica de ações de combate ao desperdício e de melhoria da eficiência energética de equipamentos, processos e usos finais de energia. Para isso, busca-se maximizar os benefícios públicos da energia economizada e da demanda evitada no âmbito desses programas. Busca-se, enfim, a transformação do mercado de energia elétrica, estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica”*¹⁰.

Para tanto, além de projetos de substituição de equipamentos existentes por outros mais eficientes, pode-se também financiar, através desse mecanismo, ações e projetos de eficiência energética de:

- a) Ações de treinamento e capacitação;
- b) Projetos educacionais;
- c) Projetos de gestão energética;
- d) Projetos especiais, com ações demonstrativas em Projetos Prioritários, Pilotos, Grande Relevância e Cooperativos;
- e) Ações de avaliação constante e sistemática e;
- f) Ações de divulgação do PEE;

O documento Procedimentos do Programa de Eficiência Energética, ou PROPEE, é um guia determinativo de procedimentos dirigido às distribuidoras e permissionárias, para elaboração e execução de projetos de eficiência energética regulados pela ANEEL e a estrutura e a forma de apresentação dos projetos, os critérios de avaliação e de fiscalização e os tipos de projetos que podem ser realizados com recursos do PEE, além dos procedimentos para contabilização dos

¹⁰ Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. Procedimentos do Programa de Eficiência Energética. ANEEL; Brasília: 2013.

custos e apropriação dos investimentos realizados. Este documento é dividido em 10 módulos, conforme a seguir:

- a) Módulo 1 – Introdução;
- b) Módulo 2 – Gestão do Programa;
- c) Módulo 3 – Seleção e Implantação de Projetos;
- d) Módulo 4 – Tipologias de Projeto;
- e) Módulo 5 – Projetos Especiais;
- f) Módulo 6 – Projetos com Fontes Incentivadas;
- g) Módulo 7 – Cálculo da Viabilidade;
- h) Módulo 8 – Medição e verificação de Resultados;
- i) Módulo 9 – Avaliação dos Projetos e Programas;
- j) Módulo 10 – Controle e Prestação de Contas.

Cada Módulo descreve em detalhes todas as etapas e procedimentos que devem ser seguidos pela concessionária, permissionária ou entidade que estiver apresentando o projeto para que o mesmo seja aprovado e implantado.

De toda maneira, os prestadores de serviços públicos de saneamento podem acessar o PEE para financiarem seus projetos de eficiência energética. Empresas com fins lucrativos devem celebrar contratos de desempenho. Por outro lado, empresas sem fins lucrativos, caso das autarquias municipais, estão isentas da obrigatoriedade de retornar o investimento por meio de contratos de desempenho, i.e., podem acessar esses recursos a fundo perdido.

Também existem Ações de Eficiência Energética - Gestão Energética Municipal possível para prestadores de serviços da administração direta ou indireta de municípios, como as autarquias municipais. Nestas ações enquadram-se¹¹:

- *Capacitação dos Técnicos Municipais em Gestão Energética Municipal.*
- *Criação de uma Unidade de Gestão Energética Municipal (UGEM) capaz de gerir o consumo de energia elétrica do Município.*
- *Aplicação de um sistema computacional para apoio à gestão (exemplo: SIEM¹²).*
- *Web-Sistema de Informação Energética Municipal da ELETROBRAS PROCEL.*
- *Elaboração de um planejamento do uso da energia elétrica do Município, com base na Metodologia de Elaboração de Planos Municipais de Gestão da Energia Elétrica (PLAMGE¹³) da ELETROBRAS PROCEL.*
- *Divulgação dos resultados.*

A Tabela 1 mostra um quadro resumo das possibilidades de financiamento via PEE para os prestadores de serviços de saneamento.

Os capítulos seguintes dedicam-se a apresentar os requisitos de viabilidade para acessar os recursos do PEE com o objetivo de financiar, sobretudo, projetos visando a melhoria de instalação (equipamentos e serviços), com foco nas unidades de bombeamento (estações elevatórias). Isso se justifica uma vez que a parcela principal do consumo e do custo de energia elétrica nos prestadores de serviços de saneamento residem nos sistemas de bombeamento. Além disso, a implantação de sistemas de gestão requer a avaliação inicial da ANEEL, o que já os classifica como projetos especiais que deverão ser tratados individualmente, fugindo ao enquadramento genérico que se busca através da ferramenta aqui disponibilizada.

¹¹ PEE – Módulo 4 – Tipologias de Projeto

¹² <http://www.rce.org.br/siem.html>

¹³ <http://www.rce.org.br/plamge.html>

Ademais, cada projeto terá suas especificidades e características inerentes. Os dados de entrada na planilha de Excel® disponível deverão ser calibrados e ajustados conforme o caso.

Tabela 1 - Projetos para Poder Público e Serviços Públicos via PEE

Projetos para Poder Público e Serviços Públicos via PEE				
Ação	Tipologias	Implantação	Apoio PEE	Retorno do Investimento
Melhoria de instalação (equipamentos e serviços)	Iluminação, condicionamento ambiental, sistemas motrizes .	Contrato de desempenho opcional	Gestão, pré-diagnóstico, diagnóstico, implantação parcial ou total	Não é obrigatório
Gestão energética (ref: ISO 50001)	Conscientização, treinamento, capacitação, mobilização, divulgação, sistema de controle, alteração em instalações.	Contrato de desempenho opcional	Implantação parcial	Não (fundo perdido)

Nota: Serviços públicos municipais de saneamento prestados por administração direta ou indireta (autarquias), podem ser contemplados em projetos de gestão energética através de Gestão Energética Municipal (PLAMGE/SIEM).

É importante observar que, dentre as tipologias de projetos existentes nos módulos do PROPEE, não há tipologias específicas para as categorias de projetos de eficiência energética possíveis em um sistema de saneamento. Por ora, cabe ao prestador de serviços ajustar o projeto aos requisitos do PROPEE a fim de calcular os benefícios de energia economizada e redução de demanda na ponta. *O PROPEE não é exaustivo nas ações que podem ser desenvolvidas no âmbito do Programa de Eficiência Energética, mas busca apresentar as principais ações implementadas nos projetos. Novas ações podem ser implementadas e, no caso de novos equipamentos e/ou metodologias o projeto pode ser desenvolvido na modalidade Piloto, conforme descrito no Módulo 5. Diz ainda que “O PEE inclui projetos de eficiência energética em todos os setores da economia, classes de consumo e usos finais. Alguns projetos se revestem de características especiais quanto à importância para o desenvolvimento da eficiência energética ou forma de contratação”.* Por fim, destaca-se no Módulo 3 que é permitido considerar *“outros benefícios mensuráveis (melhoria de qualidade, produtividade, segurança, impactos sociais e ambientais positivos, etc.) no cálculo da viabilidade econômica, desde que sejam cumpridos os requisitos especificados no Módulo 7 - Cálculo da Viabilidade”.*

Nesse sentido o presente módulo pretende oferecer ao prestador de serviços um roteiro a ser seguido para garantir a aderência das ações de eficiência energética pretendidas aos requisitos do regulamento da ANEEL.

Guia Prático de Chamadas Públicas do PEE para Proponentes

Uma vez que os projetos de eficiência energética são selecionados, pelas distribuidoras, por meio das chamadas públicas de projetos, conhecer os mecanismos que envolvem o processo de seleção de projetos candidatos aos recursos do PEE é um importante passo para planejar e escrever um projeto capaz de alcançar as primeiras posições entre os projetos submetidos a uma chamada pública.

Uma boa referência para essa tarefa é o Guia Prático de Chamadas Públicas do PEE para Proponentes (Guia CPP), disponível no site <http://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica/chamadas-publicas>.

O Guia CPP é direcionado aos consumidores (ESCO), fabricantes e comerciantes de equipamentos eficientes aptos a apresentarem projetos de eficiência energética, no âmbito do PEE, nas Chamadas Públicas das distribuidoras de energia elétrica.

As distribuidoras cumprem um importante papel na divulgação e na garantia de que toda a sociedade seja beneficiada pelo acesso aos recursos disponibilizados pelo PEE.

O Guia CPP Proponentes tem como principal objetivo consolidar os conceitos e as premissas necessários para a apresentação de projetos de eficiência energética nas Chamadas Públicas das distribuidoras de energia elétrica, orientando os proponentes na aplicação das melhores práticas visando o desenvolvimento de projetos de qualidade e com maiores possibilidades de êxito no atingimento dos resultados esperados.

O Guia CPP foi elaborado com o apoio colaborativo entre a ANEEL e a *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH*, estabelecido no âmbito do acordo de cooperação técnica entre Brasil e Alemanha (ANEEL, 2016).

3. Projetos típicos de eficiência energética em saneamento

Neste capítulo apresentam-se projetos típicos de eficiência energética em sistemas de saneamento e correlacionam-se com as tipologias que aparecem no Módulo 4 do PROPEE-Aneel, de modo a aproximar da linguagem do PROPEE facilitando a comunicação entre os setores de saneamento e de distribuição de energia elétrica.

São sugeridos modelos de cálculo de energia economizada e de demanda retirada da ponta em projetos de

- reabilitação ou substituição de motor-bombas;
- melhoria de carga através de inversores de frequência;
- redução de perdas de água e do volume bombeado;
- aumento do volume reservado.

Também se mostram outras medidas sem entrar nos cálculos de energia economizada e demanda retirada da ponta.

3.1. Reabilitação ou substituição de motor-bombas

Projetos típicos para aumento do rendimento dos conjuntos motor-bomba são: troca de motores, troca de bombas e troca dos conjuntos. A substituição ou renovação do conjunto motor-bomba, visando condições de operação de maior rendimento, constitui uma medida de eficiência energética.

Com o passar dos anos, os conjuntos motor-bomba sofrem um desgaste natural que conduz a uma queda gradual do rendimento. Assim, eles podem estar operando em condições de ineficiência, sem que haja conhecimento por parte do prestador de serviços responsável por sua operação.

A sua reabilitação ou substituição, em muitos casos, evita custos que se justificam por autofinanciar as medidas em poucos meses. Frequentemente, nos sistemas de abastecimento de água, há motor-bombas que operam por mais de 20 anos, sendo que a vida útil habitual de equipamentos eletromecânicos varia entre 5 e 15 anos, dependendo do contexto

Outras medidas que podem aumentar o rendimento de conjuntos motor-bomba são a reabilitação e limpeza periódica dos equipamentos e dispositivos que o antecedem, e também o redimensionamento de canalizações a montante e a jusante do conjunto. A colmatação das paredes do poço, do filtro e do próprio solo tende a reduzir o rendimento do conjunto motor-bomba na extração de água ao longo do tempo de operação. Algumas limpezas não têm custos expressivos, porém as paredes de um poço são significativas e podem entrar como ação de eficiência energética. Também as canalizações de sucção e recalque, quando subdimensionadas, prejudicam a eficiência energética.

As ações de eficiência energética de reabilitação ou substituição de motor-bombas cobertas por este item referem-se a:

- a) Substituição de motores.
- b) Substituição de conjuntos motor-bomba
- c) Reabilitação e limpeza de conjuntos motor-bomba ou de poços.
- d) Redimensionamento das canalizações de sucção e recalque.

Estas últimas medidas c) e d) não devem ser adotadas isoladamente em projetos do PEE, entretanto, quando adotadas em conjunto com as ações a) ou b), potencializam os resultados de energia evitada (EE) e retirada de demanda na ponta (RDP) e podem ser computados. Por outro lado, desconsiderar os ganhos da ação na fase de pré-diagnóstico é uma decisão conservadora para o cálculo da RCB – Relação Custo Benefício do projeto.

Determinação da situação atual

No mínimo, os dados da tabela abaixo devem ser enviados à ANEEL. Cálculos mais completos poderão ser apresentados, desde que contemplem os itens abaixo. Dados específicos deste projeto de saneamento estão assinalados com asterisco e são sugestões no âmbito deste Guia.

Tabela 2 - Sistema Atual - Reabilitação ou substituição de motor-bombas.

SISTEMA ATUAL			Sistema 1	Sistema 2	...	TOTAL
1*	Vazão média (m ³ /s)	Q_{ai}				
2*	Altura manométrica média (mca)	H_{ai}				
3	Potência nominal do motor (cv)	p_{ai}				
4	Carregamento	γ_{ai}				
5	Rendimento nominal (%)	η_{nai}				
5 ^a	Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{ai}				
6	Quantidade	q_{ai}				
7	Potência instalada (kW)	$P_{ai} = \frac{p_{ai} * 0,736 * q_{ai}}{\eta_{nai}}$				
8	Potência média utilizada (kW)	$Pu_{ai} = P_{ai} * \gamma_{ai} * \frac{\eta_{nai}}{\eta_{ai}}$				
9	Funcionamento (h/ano)	h_{ai}				
10	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{ai}				
11	Energia consumida (MWh/ano)	$E_{ai} = \frac{Pu_{ai} * h_{ai}}{1000}$				$E_a = \sum E_{ai}$
12	Demanda média na ponta (kW)	$D_{ai} = Pu_{ai} * FCP_{ai}$				$D_a = \sum D_{ai}$

*O sub-índice *ai* está relacionado ao sistema atual, onde *i* refere ao número do sistema.

Em seguida se apresentam com a mesma numeração notas para o cálculo de cada item.

Situação atual – notas de preenchimento e cálculo

1. Vazão média (m³/h): deve ser indicada a vazão média na qual operam as bombas. Deve ser dada atenção ao regime de produção (dia festivo / noite / dia) no momento da medição e o valor médio anual considerado para a determinação das economias, sendo este último a utilizar.
2. Altura manométrica média (mca): A altura manométrica pode também ser obtida por meio da seguinte equação, cujas variáveis de entrada devem ser obtidas por medição ou estimativa na fase de ex-ante (proposta de projeto):

$$H = \left(P_{rec} + \frac{V_{rec}^2}{2 * g} \right) - \left(P_{suc} + \frac{V_{suc}^2}{2 * g} \right) + \Delta H_g$$

Onde:

H = Altura manométrica (mca)
P_{rec} = Pressão de recalque da bomba (mca)
P_{suc} = Pressão de sucção da bomba (mca)
V_{rec} = Velocidade na seção de recalque no ponto P_{rec} (m/s)
V_{suc} = Velocidade na seção de sucção no ponto P_{suc} (m/s)
G = Aceleração da gravidade (m/s²)
ΔH_g = Desnível geométrico entre os pontos P_{rec} e P_{suc}

3. Potência nominal do motor (cv): Para cada sistema (motor ou conjunto de motores) preencher a potência nominal do motor ou a soma das potências nominais dos motores agrupados. A unidade é o cv (cavalo vapor). Os motores devem ser agrupados com as mesmas características de instalação e funcionamento – potência, rotação, carregamento, horas de funcionamento. Usar tipos diferentes para trocas diferentes.
4. Carregamento corresponde ao carregamento médio do motor ou conjunto de motores. O carregamento pode ser obtido por medição ou cálculo matemático, cujo valor é dado por:

$$\text{Carregamento} = \frac{\text{Potência Requerida (kW)}}{\text{Potência Nominal (kW)}}$$

$$\text{Potência Requerida} = \frac{9,81 * Q_{ai} * H_{ai}}{\eta_{ai}} \text{ (kW)}$$

Onde:

Q_{ai} = vazão média requerida (m³/s)
H_{ai} = Altura manométrica (mca)
η_{ai} = Rendimento conjunto moto-bomba

O rendimento da bomba é um importante componente para a eficiência energética. Quanto maior o rendimento do conjunto moto-bomba, menor será a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia.

5. Rendimento nominal (%): é o rendimento do motor informado no catálogo ou na placa do próprio equipamento.

5. a) Rendimento no ponto de carregamento (%): é o rendimento do motor quando em operação no ponto de carregamento identificado no item 4. O valor do rendimento é obtido diretamente na curva rendimento x carregamento dada pelo fabricante, ou por cálculo por sistemas computacionais.
6. Quantidade de motores do sistema considerado. Somente podem ser agrupados em um mesmo sistema motores com as mesmas características de instalação e funcionamento – potência, rotação, carregamento, horas de funcionamento.
7. Potência instalada (kW): é a potência elétrica nominal do motor (convertidos cv em kW) da potência mecânica nominal entregue pelo eixo do motor, considerando-se ainda o próprio rendimento. A rigor, dever-se-ia utilizar o rendimento nominal.

$$P_{ai} = \frac{p_{ai} * 0,736 * q_{ai}}{\eta_{nai}}$$

Onde:

p_{ai} = Potência do motor no sistema i atual

q_{ai} = Número de motores no sistema i atual

η_{nai} = Rendimento nominal do motor no sistema i atual

8. Potência média utilizada (kW): é a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia considerando o carregamento médio do motor, que por sua vez foi calculado a partir da vazão média requerida.

$$P_{uai} = P_{ai} * \gamma_{ai} * \frac{\eta_{nai}}{\eta_{ai}}$$

Onde:

P_{ai} = Potência do motor no sistema i atual

γ_{ai} = carregamento do motor no sistema i atual

η_{nai} = Rendimento nominal do motor no sistema i atual

η_{ai} = Rendimento do motor no sistema i atual

Deve ser dada atenção ao regime de produção no momento da medição e o valor médio considerado para a determinação das economias, sendo este último a utilizar.

9. Funcionamento (h/ano): tempo médio de funcionamento em horas durante um ano.
10. FCP (fator de coincidência na ponta): varia entre 0 e 1. É o fator que considera a relação (a/b) sendo (a) as horas de utilização do equipamento ou sistema no qual se efetivará a eficiência energética em um ano e (b) o número máximo de horas no período de ponta em um ano,

$$FCP = \frac{nm * nd * nup}{792}$$

Onde:

nm = número de meses de utilização dos sistemas no horário de ponta.

nd = número de dias por mês de utilização em horário de ponta

nup = número de horas de utilização em horário de ponta

792 = número total de horas de ponta em 1 ano - (atenção que cada edital tem a informação do tempo a ser considerado para o cálculo que varia entre as distribuidoras de energia. Algumas consideram os feriados, outras não.)

11. Energia consumida (MWh/ano): é a energia total consumida em um ano considerando a potência média utilizada pelo sistema e o tempo de funcionamento informados nos itens 8 e 9.

$$E_{ai} = \frac{Pu_{ai} * h_{ai}}{1000}$$

Onde:

Pu_{ai} = Potência média utilizada no sistema i atual

h_{ai} = Horas de funcionamento no sistema i atual

12. Demanda média na ponta (kW): é a demanda média requerida pelo sistema considerando a potência média utilizada e o fator de coincidência na ponta informados nos itens 8 e 10.

$$D_{ai} = Pu_{ai} * FCP_{ai}$$

Onde:

Pu_{ai} = Potência média utilizada no sistema i atual

FCP_{ai} = fator de coincidência na ponta no sistema i atual

Determinação do sistema proposto

No mínimo, os dados da tabela abaixo devem ser enviados à ANEEL. Cálculos mais completos poderão ser apresentados, desde que contemplem os itens abaixo. Dados específicos deste projeto de saneamento estão assinalados com asterisco e são sugestões no âmbito deste Guia.

Tabela 3 - Sistema Proposto - Reabilitação ou substituição de motor-bombas.

SISTEMA PROPOSTO					
		Sistema 1	Sistema 2	...	TOTAL
13*	Vazão média (m ³ /s)	Q_{pi}			
14*	Altura manométrica (mca)	H_{pi}			
15	Potência nominal do motor (cv)	p_{pi}			
16	Carregamento	γ_{pi}			
17	Rendimento nominal (%)	η_{npi}			
17a	Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{pi}			
18	Quantidade	q_{pi}			
19	Potência instalada (kW)	$P_{pi} = \frac{p_{pi} * 0,736 * q_{pi}}{\eta_{npi}}$			
20	Potência média utilizada (kW)	$Pu_{pi} = P_{pi} * \gamma_{pi} * \frac{\eta_{npi}}{\eta_{pi}}$			
21	Funcionamento (h/ano)	h_{pi}			
22	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{pi}			
23	Energia consumida (MWh/ano)	$E_{pi} = \frac{Pu_{pi} * h_{pi}}{1000}$			$E_p = \sum E_{pi}$

24	Demanda média na ponta (kW)	$D_{pi} = P_{up_i} * FCP_{pi}$	$D_p = \sum D_{pi}$
----	-----------------------------	--------------------------------	---------------------

*O subíndice pi está relacionado ao sistema proposto, onde i refere ao número do sistema.

Situação proposta – notas de preenchimento e cálculo

A determinação das economias está diretamente relacionada aos novos rendimentos e potências dos motores envolvidos da ação de eficiência energética. Para uma mesma necessidade de energia para o bombeamento, sistemas com melhores rendimentos requerem uma quantidade menor de potência e energia da rede elétrica da distribuidora.

Ainda que o projeto não promova a troca de quantidades iguais de motores, caso o projetista opte por manter as potências individuais dos novos motores (comparados aos antigos que serão retirados), a tabela acima ainda pode ser utilizada, uma vez que ela permite o cadastramento de toda a quantidade necessária de sistemas para caracterizar fielmente o projeto.

Como exemplo citamos a troca de 3 motores de baixos rendimentos por apenas 2 motores com rendimentos adequados. No sistema atual são cadastrados 3 sistemas e no sistema proposto, apenas 2. Supondo que em ambas as situações (antes e depois) os motores trabalhem com 100% de carregamento, teremos nos sistemas 1 e 2 somente economias de energia em função dos novos rendimentos. Já no sistema 3, perceberemos economias de energia e demanda na sua totalidade, haja vista que esse terceiro sistema não terá nenhum motor cadastrado na situação proposta. O resultado global será a soma de todos os ganhos de energia e demanda.

A partir da potência requerida pelo sistema de bombeamento que depende da altura manométrica e da vazão média requerida, é possível estabelecer os equipamentos (motores e/ou bombas) que melhor se adequam às condições operacionais. O objetivo é encontrar os equipamentos mais eficientes cujas curvas de operação são as mais adequadas.

Os agrupamentos de motores feitos na tabela da situação anterior devem ser exatamente os mesmos que na situação proposta, ainda que em alguns sistemas possa haver aumento da energia consumida ou da demanda. Espera-se, entretanto, que a soma de todos os acréscimos e reduções de todos os sistemas resultem em economia de energia e/ou redução de demanda na ponta.

Uma vez definidos os motores e as bombas, os dados da tabela 'situação proposta' podem ser preenchidos:

13. Vazão média (m³/h): deve ser indicada a vazão média na qual vão operar as bombas. Deve ser dada atenção ao regime de produção (dia festivo / noite / dia) e o valor médio anual considerado para a determinação das economias, sendo este último a utilizar.
14. Altura manométrica (mca): A altura manométrica necessária pode ser obtida por meio da seguinte equação, cujas variáveis de entrada devem ser obtidas por cálculo na fase de ex-ante (proposta de projeto):

$$H_{pi} = \left(P_{rec} + \frac{V_{rec}^2}{2 * g} \right) - \left(P_{suc} + \frac{V_{suc}^2}{2 * g} \right) + \Delta H_g$$

Onde:

H_{pi} = Altura manométrica (mca)
 P_{rec} = Pressão de recalque da bomba (mca)
 P_{suc} = Pressão de sucção da bomba (mca)
 V_{rec} = Velocidade na seção de recalque no ponto P_{rec} (m/s)
 V_{suc} = Velocidade na seção de sucção no ponto P_{suc} (m/s)

G = Aceleração da gravidade (m/s^2)
 ΔH_g = Desnível geométrico entre os pontos P_{rec} e P_{suc}

15. Potência nominal do motor (cv): Para cada sistema (motor ou conjunto de motores) preencher com a potência nominal do motor ou a soma das potências nominais dos motores agrupados. A unidade é o cv (cavalo vapor).

Deve-se manter os mesmos agrupamentos feitos na tabela de situação atual.

16. Carregamento: é o carregamento médio do motor ou conjunto de motores. O carregamento pode ser obtido por medição ou cálculo matemático, cujo valor é dado por:

$$\text{Carregamento} = \frac{\text{Potência Requerida (kW)}}{\text{Potência Nominal (kW)}}$$

$$\text{Potência Requerida} = \frac{9,81 * Q_{pi} * H_{pi}}{\eta_{pi}} \text{ (kW)}$$

Onde:

Q_{pi} = vazão média requerida (m^3/s)

H_{pi} = Altura manométrica (mca)

η_{pi} = Rendimento conjunto moto-bomba

O carregamento representa uma das principais mudanças do projeto, pois espera-se que o novo motor, por ser de maior rendimento, tenha uma potência nominal menor em relação ao anterior.

17. Rendimento nominal (%): é o rendimento do motor informado no catálogo ou na placa do próprio equipamento. Este valor também tende a permanecer o mesmo, a menos que algum motor seja substituído.
17. a) Rendimento no ponto de carregamento (%): é o rendimento do conjunto moto -bomba quando em operação no ponto de carregamento identificado no item 16. O valor do rendimento é obtido diretamente na curva rendimento x carregamento dada pela fabricante.
18. Quantidade de motores do sistema considerado. Somente podem ser agrupados em um mesmo sistema motores com as mesmas características de instalação e funcionamento – potência, rotação, carregamento, horas de funcionamento.
19. Potência instalada (kW): é a potência elétrica nominal do motor resultante (convertidos cv em kW) da potência mecânica nominal entregue pelo eixo do motor, considerando-se ainda o próprio rendimento.

$$P_{pi} = \frac{p_{pi} * 0,736 * q_{pi}}{\eta_{mpi}}$$

Onde:

p_{pi} = Potência do motor no sistema i proposto

q_{pi} = Número de motores no sistema i proposto

η_{mpi} = Rendimento nominal do motor no sistema i proposto

20. Potência média utilizada (kW): é a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia considerando o carregamento médio do motor, que por sua vez foi calculado a partir da vazão média requerida.

$$Pu_{pi} = P_{pi} * \gamma_{pi} * \frac{\eta_{npi}}{\eta_{pi}}$$

Onde:

P_{pi} = Potência do motor no sistema i proposto

γ_{pi} = carregamento do motor no sistema i atual

η_{npi} = Rendimento nominal do conjunto moto-bomba no sistema i proposto

η_{pi} = Rendimento nominal do conjunto moto-bomba no sistema i proposto

21. Funcionamento (h/ano): tempo médio de funcionamento em horas durante um ano.

22. FCP (fator de coincidência na ponta): varia entre 0 e 1. Indica o percentual de equipamentos de um mesmo sistema que são utilizados no horário de ponta.

$$FCP = \frac{nm * nd * nup}{792}$$

Onde:

nm = número de meses de utilização do sistema no horário de ponta;

nd = número de dias por mês de utilização em horário de ponta;

nup = número de horas de utilização em horário de ponta; e

792 = número total de horas de ponta em 1 ano - (atenção que cada edital tem a informação do tempo a ser considerado para o cálculo que varia entre as distribuidoras de energia. Algumas consideram os feriados, outras não.)

23. Energia consumida (MWh/ano): é a energia total consumida em um ano considerando a potência média utilizada pelo sistema e o tempo de funcionamento.

$$E_{pi} = \frac{Pu_{pi} * h_{pi}}{1000}$$

Onde:

Pu_{pi} = Potência média utilizada no sistema i proposto

h_{pi} = Horas de funcionamento no sistema i proposto

24. Demanda média na ponta (kW): é a demanda média requerida pelo sistema considerando a potência média utilizada e o fator de coincidência.

$$D_{pi} = Pu_{pi} * FCP_{pi}$$

Onde:

Pu_{pi} = Potência média utilizada no sistema i proposto

FCP_{pi} = fator de coincidência na ponta no sistema i proposto

Resultados esperados

No mínimo, os dados da tabela abaixo devem ser enviados à ANEEL. Cálculos mais completos poderão ser apresentados, desde que contemplem os itens abaixo.

Tabela 4 – Resultado Esperado - Reabilitação ou substituição de motor-bombas

RESULTADO ESPERADO			
		Sistema 1	Sistema 2 ... TOTAL
25	Redução de demanda na ponta (kW)	$RDP_i = D_{ai} - D_{pi}$	$RDP = \sum RDP_i$
26	Redução de demanda na ponta (%)	$RDP\% = \frac{RDP_i}{D_{ai}} * 100$	$RDP\% = \frac{RDP}{D_a} * 100$
27	Energia economizada (MWh/ano)	$EE_i = E_{ai} - E_{pi}$	$EE = \sum EE_i$
28	Energia economizada (%)	$EE\% = \frac{EE_i}{E_{ai}} * 100$	$EE\% = \frac{EE}{E_a} * 100$

As seguintes fórmulas expressam os resultados esperados de energia evitada e de demanda reduzida na ponta de forma mais detalhada:

25. Redução de demanda na ponta (kW)

$$RDP = \sum_{\text{sistema } i} (P_{pi} * \gamma_{pi} * \frac{\eta_{npi}}{\eta_{pi}} * FCP_{pi} - P_{ai} * \gamma_{ai} * \frac{\eta_{nai}}{\eta_{ai}} * FCP_{ai})$$

Onde:

RDP = Redução de demanda na ponta em kW
 P_{pi} = Potência do motor no sistema i proposto em cv
 γ_{pi} = Carregamento do motor no sistema i proposto
 η_{npi} = Rendimento nominal do motor no sistema i proposto
 η_{pi} = Rendimento do motor no sistema i proposto
 FCP_{pi} = Fator de coincidência na ponta no sistema i proposto
 P_{ai} = Potência do motor no sistema i atual em cv
 γ_{ai} = Carregamento do motor no sistema i atual
 η_{nai} = Rendimento nominal do motor no sistema i atual
 η_{ai} = Rendimento do motor no sistema i atual
 FCP_{ai} = Fator de coincidência na ponta no sistema i atual

* FCP_{pi} só é diferente de FCP_{ai} quando houver alguma mudança no sistema implementada pelo projeto, que o permita.

27. Energia economizada (MWh/ano)

A economia de energia é obtida através da diferença entre o consumo específico medido das bombas antes das intervenções menos o consumo específico da bomba proposta, multiplicado pelo volume aduzido, conforme fórmula a seguir:

$$EE = \left(\frac{kWh}{m^3_{ai}} - \frac{kWh}{m^3_{pi}} \right) * V * 10^{-3}$$

Onde:

EE = Energia economizada em MWh/ano

$$\frac{kWh}{m^3 ai} = \text{consumo específico da elevação de água no sistema i atual}$$

$$\frac{kWh}{m^3 ai} = \text{consumo específico da elevação de água no sistema i proposto}$$

V = Volume de água em elevar em m³/ano

O método preconizado pelos sistemas motrizes do PROPEE segue a derivação pela potência do motor conforme segue:

$$EE = \left[\sum_{\text{sistema } i} \left(\frac{q_{ai} * p_{ai} * 0,736 * \gamma_{ai}}{\eta_{ai}} * h_{ai} - \frac{q_{pi} * p_{pi} * 0,736 * \gamma_{pi}}{\eta_{pi}} * h_{pi} \right) \right] * 10^{-3}$$

Onde:

EE =Energia economizada em MWh/ano
 q_{ai} =Número de motores no sistema i atual
 p_{ai} =Potência do motor no sistema i atual em cv
 γ_{ai} =Carregamento do motor no sistema i atual
 η_{ai} =Rendimento do motor no sistema i atual
 h_{ai} =Tempo de funcionamento no sistema i atual em h/ano
 0,736=Conversão de cv para kW em kW/cv
 q_{pi} =Número de motores no sistema i proposto
 p_{pi} =Potência do motor no sistema i proposto em cv
 γ_{pi} =Carregamento do motor no sistema i proposto
 η_{pi} =Rendimento do motor no sistema i proposto
 h_{pi} =Tempo de funcionamento no sistema i proposto em h/ano

* h_{pi} só é diferente de h_{ai} quando houver alguma mudança operacional implementada pelo projeto, que o justifique.

3.2. Utilização de inversores de frequência

A utilização de dispositivos de variação da velocidade dos conjuntos motor-bomba justifica-se nos casos em que há necessidade de adaptar da vazão de bombeamento em função da oscilação da demanda ao longo do período de funcionamento.

Da teoria da mecânica dos fluídos sabe-se que a vazão de um sistema varia proporcionalmente com a velocidade e a potência requerida varia com o cubo da velocidade, de forma que se um sistema requerer 50 % da vazão a potência requerida será de 13% apenas.

Uma situação usual é por meio de *boosters* ou estações de bombeamento recalcar a água diretamente para a rede de abastecimento. Esses casos são significativos quando a altura geométrica é pequena face às perdas de carga nas canalizações. O uso de inversores de frequência é um modo de regular a vazão e a pressão no sistema de abastecimento de modo mais eficiente.

Outra prática frequente é o controle de vazão por estrangulamento de registros. Esta prática significa concretamente gerar uma perda de carga maior, o que é desfavorável em termos energéticos. O consumo de energia elétrica é reduzido quando o controle da vazão deixa de ser pelo registro parcialmente fechado e passa a atuar na velocidade do motor por meio de inversores de frequência. Dessa forma, reduz-se o carregamento do motor ao mesmo tempo em que se elimina as perdas adicionais de carga introduzidas pelo estrangulamento.

As ações de eficiência energética em Inversores de frequência cobertas por este item referem-se a:

- Modulação da vazão / pressão na rede através de inversores de frequência.
- Substituição da modulação de vazão por registros através de inversores de frequência.

Determinação da situação atual

No mínimo, os dados da tabela abaixo devem ser enviados à ANEEL. Cálculos mais completos poderão ser apresentados, desde que contemplem os itens abaixo. Dados específicos deste projeto de saneamento estão assinalados com asterisco e são sugestões no âmbito deste Guia.

Tabela 5 – Sistema Atual – Inversores de frequência

SISTEMA ATUAL			Sistema 1	Sistema 2	...	TOTAL
1*	Pressão média na rede (ou na adutora)	mca_{ai}				
2*	Consumo específico de energia para água bombeada	kWh/m^3_{ai}				
3*	Altura manométrica média (mca)	H_{ai}				
4	Potência nominal do motor (cv)	p_{ai}				
5	Carregamento	γ_{ai}				
6	Rendimento nominal (%)	η_{nai}				
6a	Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{ai}				
7	Quantidade	q_{ai}				
8	Potência instalada (kW)	$P_{ai} = \frac{p_{ai} * 0,736 * q_{ai}}{\eta_{nai}}$				
9	Potência média utilizada (kW)	$Pu_{ai} = P_{ai} * \gamma_{ai} * \frac{\eta_{nai}}{\eta_{ai}}$				
10	Funcionamento (h/ano)	h_{ai}				
11	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{ai}				
12	Energia consumida (MWh/ano)	$E_{ai} = \frac{Pu_{ai} * h_{ai}}{1000}$				$E_a = \sum E_{ai}$
13	Demanda média na ponta (kW)	$D_{ai} = Pu_{ai} * FCP_{ai}$				$D_a = \sum D_{ai}$

*O sub-índice ai está relacionado ao sistema atual, onde i refere ao número do sistema.

Em seguida se apresentam com a mesma numeração notas para o cálculo de cada item.

Situação atual – notas de preenchimento e cálculo

1. Pressão média na rede¹⁴, caso seja uma situação de injeção de água direta na rede, ou pressão na adutora. O valor deve ser obtido por medição ou estimativa.
2. Consumo específico de energia por volume de água bombeada¹⁵ – o valor deve ser obtido por medição de ambas as grandezas, volume(m³) e energia (kWh) apenas no sistema onde ocorre a ação de eficiência.
3. Altura manométrica média (mca): A altura manométrica pode também ser obtida por meio da seguinte equação, cujas variáveis de entrada devem ser obtidas por medição ou estimativa na fase de ex-ante (proposta de projeto):

$$H = \left(P_{rec} + \frac{V_{rec}^2}{2 * g} \right) - \left(P_{suc} + \frac{V_{suc}^2}{2 * g} \right) + \Delta H_g$$

Onde:

H = Altura manométrica (mca)
P_{rec} = Pressão de recalque da bomba (mca)
P_{suc} = Pressão de sucção da bomba (mca)
V_{rec} = Velocidade na seção de recalque no ponto P_{rec} (m/s)
V_{suc} = Velocidade na seção de sucção no ponto P_{suc} (m/s)
G = Aceleração da gravidade (m/s²)
ΔH_g = Desnível geométrico entre os pontos P_{rec} e P_{suc}

4. Potência nominal do motor (cv): Para cada sistema (motor ou conjunto de motores) preencher com a potência nominal do motor ou a soma das potências nominais dos motores agrupados. A unidade é o cv (cavalo vapor). Os motores devem ser agrupados com as mesmas características de instalação e funcionamento – potência, rotação, carregamento, horas de funcionamento. Usar tipos diferentes para trocas diferentes.
5. Carregamento corresponde ao carregamento médio do motor ou conjunto de motores. O carregamento pode ser obtido por medição ou cálculo matemático, cujo valor é dado por:

$$\text{Carregamento} = \frac{\text{Potência Requerida (kW)}}{\text{Potência Nominal (kW)}}$$

$$\text{Potência Requerida} = \frac{9,81 * Q_{ai} * H_{ai}}{\eta_{ai}} \text{ (kW)}$$

Onde:

Q_{ai} = vazão média requerida (m³/s)
H_{ai} = Altura manométrica (mca)
η_{ai} = Rendimento conjunto moto-bomba

6. Rendimento nominal (%): é o rendimento do motor informado no catálogo ou na placa do próprio equipamento.
6. a) Rendimento no ponto de carregamento (%): é o rendimento do motor quando em operação no ponto de carregamento identificado no item 4. O valor do rendimento é obtido diretamente

¹⁴ item específico para este tipo de projeto, não sendo indicado no Módulo 4 do PROPEE.

¹⁵ item específico para este tipo de projeto, não sendo indicado no Módulo 4 do PROPEE.

na curva rendimento x carregamento dada pelo fabricante, ou por valor calculado por sistema computacional.

7. Quantidade: quantidade de motores do sistema considerado. Somente podem ser agrupados em um mesmo sistema motores com as mesmas características de instalação e funcionamento – potência, rotação, carregamento, horas de funcionamento
8. Potência instalada (kW): é a potência elétrica nominal do motor (convertidos cv em kW) da potência mecânica nominal entregue pelo eixo do motor, considerando-se ainda o próprio rendimento.

$$P_{ai} = \frac{p_{ai} * 0,736 * q_{ai}}{\eta_{nai}}$$

Onde:

p_{ai} = Potência do motor no sistema *i* atual
 q_{ai} = Número de motores no sistema *i* atual
 η_{nai} = Rendimento nominal do motor no sistema *i* atual

9. Potência média utilizada (kW): é a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia considerando o carregamento médio do motor, que por sua vez foi calculado a partir da vazão média requerida.

$$Pu_{ai} = P_{ai} * \gamma_{ai} * \frac{\eta_{nai}}{\eta_{ai}}$$

Onde:

P_{ai} = Potência do motor no sistema *i* atual
 γ_{ai} = carregamento do motor no sistema *i* atual
 η_{nai} = Rendimento nominal do motor no sistema *i* atual
 η_{ai} = Rendimento do motor no sistema *i* atual

Deve ser dada atenção ao regime de produção no momento da medição e o valor médio considerado para a determinação das economias, sendo este último a utilizar.

10. Funcionamento (h/ano): tempo médio de funcionamento em horas durante um ano. Considerando que o sistema opera no horário de ponta do sistema elétrico, daí a ação de aumento da capacidade de reservação, o nº de horas diárias aproxima-se das 24 horas.
11. FCP (fator de coincidência na ponta): varia entre 0 e 1. Indica o percentual de equipamentos de um mesmo sistema que são utilizados no horário de ponta,

$$FCP = \frac{nm * nd * nup}{792}$$

Onde:

nm = número de meses de utilização dos sistemas no horário de ponta.
 nd = número de dias por mês de utilização em horário de ponta
 nup = número de horas de utilização em horário de ponta
 792 = número total de horas de ponta em 1 ano - (atenção que cada edital tem a informação do tempo a ser considerado para o cálculo que varia entre as distribuidoras de energia. Algumas consideram os feriados, outras não.)

12. Energia consumida (MWh/ano): é a energia total consumida em um ano considerando a potência média utilizada pelo sistema e o tempo de funcionamento informados nos itens 9 e 10.

$$E_{ai} = \frac{Pu_{ai} * h_{ai}}{1000}$$

Onde:

Pu_{ai} = Potência média utilizada no sistema i atual

h_{ai} = Horas de funcionamento no sistema i atual

13. Demanda média na ponta (kW): é a demanda média requerida pelo sistema considerando a potência média utilizada e o fator de coincidência na ponta informados nos itens 9 e 11.

$$D_{ai} = Pu_{ai} * FCP_{ai}$$

Onde:

Pu_{ai} = Potência média utilizada no sistema i atual

FCP_{ai} = fator de coincidência na ponta no sistema i atual

Determinação do sistema proposto

No mínimo, os dados da tabela abaixo devem ser enviados à ANEEL. Cálculos mais completos poderão ser apresentados, desde que contemplem os itens abaixo. Dados específicos deste projeto de saneamento estão assinalados com asterisco e são sugestões no âmbito deste Guia.

Tabela 6 – Sistema Proposto – Inversores de frequência.

SISTEMA PROPOSTO			Sistema 1	Sistema 2	...	TOTAL
14*	Pressão média na rede no ou na adutora	mca_{pi}				
15*	Consumo específico de energia para água bombeada	kWh/m^3_{pi}				
16*	Altura manométrica média (mca)	H_{pi}				
17	Potência nominal do motor (cv)	p_{pi}				
18	Carregamento (1)	γ_{pi}				
19	Rendimento nominal (%)	η_{npi}				
19a	Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{pi}				
20	Quantidade	q_{pi}				
21	Potência instalada (kW)	$P_{pi} = \frac{p_{pi} * 0,736 * q_{pi}}{\eta_{npi}}$				
22	Potência média utilizada (kW)	$Pu_{pi} = P_{pi} * \gamma_{pi} * \frac{\eta_{npi}}{\eta_{pi}}$				
23	Funcionamento (h/ano)	h_{pi}				
24	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{pi}				
25	Energia consumida (MWh/ano)	$E_{pi} = \frac{Pu_{pi} * h_{pi}}{1000}$				$E_p = \sum E_{pi}$
26	Demanda média na ponta (kW)	$D_{pi} = Pu_{pi} * FCP_{pi}$				$D_p = \sum D_{pi}$

*O subíndice pi está relacionado ao sistema proposto, onde i refere ao número do sistema.

Situação proposta – notas de preenchimento e cálculo

A instalação de inversores elimina as perdas de carga provocadas por estrangulamento de válvulas, por outro lado, diminui o rendimento do sistema de bombeamento.

Existem aplicativos disponibilizados pelos fabricantes de inversores de frequência que a partir da variação de pressão/vazão do sistema ou no caso de substituição de válvulas de estrangulamento a partir do percentual de restrição de vazão e tempo de utilização em cada condição determinam a potência solicitada da rede elétrica com a utilização do inversor de frequência e determinam o montante de economia em kWh a ser alcançado.

Os agrupamentos de motores feitos na tabela da situação atual devem ser exatamente os mesmos que na situação proposta, ainda que em alguns sistemas possa haver aumento da energia consumida ou da demanda. Espera-se, entretanto, que a soma de todos os acréscimos e reduções de todos os sistemas resultem em economia de energia e/ou redução de demanda na ponta.

Uma vez definida a redução das perdas de carga e o rendimento do sistema de automação, os dados da tabela situação proposta pode ser preenchida:

14. Pressão média na rede¹⁶, caso seja uma situação de injeção de água direta na rede, ou na adutora. O valor deve ser obtido por estimativas e cálculos.
15. Consumo específico de energia¹⁷ esperado por volume de água bombeada – o valor deve ser obtido por cálculo de ambas as grandezas, volume(m³) e energia (kWh).
16. Altura manométrica média (mca): A altura manométrica pode também ser obtida por meio da seguinte equação, cujas variáveis de entrada devem ser obtidas por medição ou estimativa na fase de ex-ante (proposta de projeto):

$$H = \left(P_{rec} + \frac{V_{rec}^2}{2 * g} \right) - \left(P_{suc} + \frac{V_{suc}^2}{2 * g} \right) + \Delta H_g$$

Onde:

H = Altura manométrica (mca)
P_{rec} = Pressão de recalque da bomba (mca)
P_{suc} = Pressão de sucção da bomba (mca)
V_{rec} = Velocidade na seção de recalque no ponto P_{rec} (m/s)
V_{suc} = Velocidade na seção de sucção no ponto P_{suc} (m/s)
G = Aceleração da gravidade (m/s²)
ΔH_g = Desnível geométrico entre os pontos P_{rec} e P_{suc}

A redução das perdas de carga promovida pela eliminação do estrangulamento dos registros requer a demonstração dos cálculos no projeto e manifesta-se na nova altura manométrica.

17. Potência nominal do motor (cv): Para cada sistema (motor ou conjunto de motores) preencher com a potência nominal do motor ou a soma das potências nominais dos motores agrupados. A unidade é o cv (cavalo vapor). Deve-se manter os mesmos agrupamentos feitos para a situação atual.

¹⁶ item específico para este tipo de projeto, não sendo indicado no Módulo 4 do PROPEE.

¹⁷ item específico para este tipo de projeto, não sendo indicado no Módulo 4 do PROPEE.

18. Carregamento: é o carregamento médio do motor ou conjunto de motores. O carregamento pode ser obtido por medição ou cálculo matemático, cujo valor é dado por:

$$\text{Carregamento} = \frac{\text{Potência Requerida (kW)}}{\text{Potência Nominal (kW)}}$$

$$\text{Potência Requerida} = \frac{9,81 * Q_{pi} * H_{pi}}{\eta_{pi}} \text{ (kW)}$$

Onde:

Q_{pi} = vazão média requerida (m³/s)

H_{pi} = Altura manométrica (mca)

η_{pi} = Rendimento conjunto moto-bomba

O carregamento representa uma das principais mudanças do projeto, pois a redução das perdas de carga requer uma menor potência elétrica para bombeamento da mesma quantidade de água demandada pelo sistema.

19. Rendimento nominal (%): é o rendimento do motor informado no catálogo ou na placa do próprio equipamento.

19. a) Rendimento no ponto de carregamento (%): é o rendimento do motor quando em operação no ponto de carregamento identificado no item 18. O valor do rendimento é obtido diretamente na curva rendimento x carregamento dada pela fabricante.

Sobre esse valor, devemos multiplicar o rendimento do sistema de inversores. O próprio sistema de inversores agrega uma perda de rendimento na ordem de 2% que deve ser levada em consideração.

20. Quantidade de motores do sistema considerado. Somente podem ser agrupados em um mesmo sistema motores com as mesmas características de instalação e funcionamento – potência, rotação, carregamento, horas de funcionamento.

21. Potência instalada (kW): é a potência elétrica nominal do motor resultante (convertidos cv em kW) da potência mecânica nominal entregue pelo eixo do motor, considerando-se ainda o próprio rendimento.

$$P_{pi} = \frac{p_{pi} * 0,736 * q_{pi}}{\eta_{npi}}$$

Onde:

p_{pi} = Potência do motor no sistema *i* proposto

q_{pi} = Número de motores no sistema *i* proposto

η_{npi} = Rendimento nominal do motor no sistema *i* proposto

22. Potência média utilizada (kW): é a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia considerando o carregamento médio do motor, que por sua vez foi calculado a partir da vazão média requerida.

$$Pu_{pi} = P_{pi} * \gamma_{pi} * \frac{\eta_{npi}}{\eta_{pi}}$$

Onde:

P_{pi} = Potência do motor no sistema *i* proposto

γ_{pi} = carregamento do motor no sistema *i* atual

η_{npi} = Rendimento nominal do motor no sistema i proposto

η_{pi} = Rendimento nominal do motor no sistema i proposto

23. Funcionamento (h/ano): tempo médio de funcionamento em horas durante um ano.

24. FCP (fator de coincidência na ponta): varia entre 0 e 1. Indica o percentual de equipamentos de um mesmo sistema que são utilizados no horário de ponta.

$$FCP = \frac{nm * nd * nup}{792}$$

Onde:

nm = número de meses de utilização do sistema no horário de ponta;

nd = número de dias por mês de utilização em horário de ponta;

nup = número de horas de utilização em horário de ponta; e

792 = número total de horas de ponta em 1 ano - (atenção que cada edital tem a informação do tempo a ser considerado para o cálculo que varia entre as distribuidoras de energia. Algumas consideram os feriados, outras não.)

25. Energia consumida (MWh/ano): é a energia total consumida em um ano considerando a potência média utilizada pelo sistema e o tempo de funcionamento.

$$E_{pi} = \frac{Pu_{pi} * h_{pi}}{1000}$$

Onde:

Pu_{pi} = Potência média utilizada no sistema i proposto

h_{pi} = Horas de funcionamento no sistema i proposto

26. Demanda média na ponta (kW): é a demanda média requerida pelo sistema considerando a potência média utilizada e o fator de coincidência.

$$D_{pi} = Pu_{pi} * FCP_{pi}$$

Onde:

Pu_{pi} = Potência média utilizada no sistema i proposto

FCP_{pi} = fator de coincidência na ponta no sistema i proposto

Resultados esperados

No mínimo, os dados da tabela abaixo devem ser enviados à ANEEL. Cálculos mais completos poderão ser apresentados, desde que contemplem os itens abaixo.

Tabela 7 – Resultado Esperado – Inversores de frequência.

RESULTADOS ESPERADOS				
		Sistema 1	Sistema 2	... TOTAL
27	Redução de demanda na ponta (kW)	$RDP_i = D_{ai} - D_{pi}$		$RDP = \sum RDP_i$
28	Redução de demanda na ponta (%)	$RDP\% = \frac{RDP_i}{D_{ai}} * 100$		$RDP\% = \frac{RDP}{D_a} * 100$
29	Energia economizada (MWh/ano)	$EE_i = E_{ai} - E_{pi}$		$EE = \sum EE_i$
30	Energia economizada (%)	$EE\% = \frac{EE_i}{E_{ai}} * 100$		$EE\% = \frac{EE}{E_a} * 100$

As seguintes fórmulas expressam os resultados esperados de energia evitada e de demanda reduzida na ponta:

29. Energia economizada (MWh/ano)

A economia de energia é obtida através da diferença entre o consumo específico medido das bombas antes das intervenções menos o consumo específico da bomba proposta, multiplicado pelo volume aduzido, conforme fórmula a seguir:

$$EE = \left(\frac{kWh}{m^3_{ai}} - \frac{kWh}{m^3_{pi}} \right) * V * 10^{-3}$$

Onde:

EE = Energia economizada em MWh/ano

$\frac{kWh}{m^3_{ai}}$ = consumo específico da elevação de água no sistema i atual

$\frac{kWh}{m^3_{pi}}$ = consumo específico da elevação de água no sistema i proposto

V = Volume de água em elevar em m^3 /ano

O método preconizado pelos sistemas motrizes do PROPEE segue a derivação pela potência do motor conforme segue:

$$EE = \left[\sum_{\text{sistema } i} \left(\frac{q_{ai} * p_{ai} * 0,736 * \gamma_{ai}}{\eta_{ai}} * h_{ai} - \frac{q_{pi} * p_{pi} * 0,736 * \gamma_{pi}}{\eta_{pi}} * h_{pi} \right) \right] * 10^{-3}$$

Onde:

EE = Energia economizada em MWh/ano

q_{ai} = Número de motores no sistema i atual

p_{ai} = Potência do motor no sistema i atual em cv

γ_{ai} = Carregamento do motor no sistema i atual

η_{ai} = Rendimento do motor no sistema i atual

h_{ai} = Tempo de funcionamento no sistema i atual em h/ano

0,736 = Conversão de cv para kW em kW/cv

q_{pi} = Número de motores no sistema i proposto

p_{pi} = Potência do motor no sistema i proposto em cv

γ_{pi} = Carregamento do motor no sistema i proposto

η_{pi} = Rendimento do motor no sistema i proposto

h_{pi} = Tempo de funcionamento no sistema i proposto em h/ano

* h_{pi} só é diferente de h_{ai} quando houver alguma mudança operacional implementada pelo projeto, que o justifique.

30. Redução de demanda na ponta (kW)

$$RDP = \sum_{\text{sistema } i} \left(P_{pi} * \gamma_{pi} * \frac{\eta_{npi}}{\eta_{pi}} * FCP_{pi} - P_{ai} * \gamma_{ai} * \frac{\eta_{nai}}{\eta_{ai}} * FCP_{ai} \right)$$

Onde:

RDP = Redução de demanda na ponta em kW

P_{pi} = Potência do motor no sistema i proposto em cv

γ_{pi} = Carregamento do motor no sistema i proposto

η_{npi} = Rendimento nominal do motor no sistema i proposto

η_{pi} = Rendimento do conjunto moto-bomba no sistema i proposto

FCP_{pi} = Fator de coincidência na ponta no sistema i proposto

P_{ai} = Potência do motor no sistema i atual em cv

γ_{ai} = Carregamento do motor no sistema i atual

η_{nai} = Rendimento nominal do motor no sistema i atual

η_{ai} = Rendimento do conjunto moto-bomba no sistema i atual

FCP_{ai} = Fator de coincidência na ponta no sistema i atual

* FCP_{pi} só é diferente de FCP_{ai} quando houver alguma mudança no sistema implementada pelo projeto, que o permita.

3.3. Redução de perdas de água e do volume bombeado

Uma forma de diminuir-se o consumo de energia elétrica requerida por um sistema de distribuição de água está na redução da água bombeada, seja através de redução de perdas reais ou do seu consumo no uso final (usuários).

Projetos típicos de redução de perdas de água e do volume bombeado são:

- Substituição de redes de distribuição;
- Controle de pressões (setorização, instalação de válvulas redutoras de pressão, controle automatizado);
- Detecção ativa de vazamentos.

Projetos típicos de redução do volume bombeado através do uso racional no uso final são:

- Micromedição e faturamento dos volumes medidos;
- Redução de pressões na rede.

Quanto menores as perdas reais de água, menor será o volume de água bombeado, estando este mais ajustado à real demanda dos usuários. A redução das perdas reduz sobremaneira os custos de produção e de distribuição de água.

Medidas adicionais que podem integrar programas de controle de perdas reais de água e de eficiência energética são: setorização, pesquisa de vazamentos (equipamentos e serviços), implantação de cadastro georreferenciado (para reduzir o tempo de localização e reparo de vazamentos), implantação de modelagem hidráulica (para identificar zonas críticas de alta pressão), implantação de sistemas de automação de bombeamentos e reservatórios, implantação de macromedidores (volume produzido e distribuído), implantação de micromedidores (volume faturado), implantação de sistema de gestão comercial (cadastro de consumidores), desenvolvimento e implantação de plano de redução e controle de perdas, desenvolvimento e implantação de programas de uso racional da água junto aos consumidores.

As ações de eficiência energética em redução de perdas de água e do volume bombeado cobertas por este item referem-se a:

- a) Substituição de redes de distribuição.

- b) Controle de pressões.
- c) Melhoria da detecção e rapidez na reparação de vazamentos.
- d) Micromedição, cadastro técnico georreferenciado e sistema de gestão comercial (incluindo macromedição)

Determinação da situação atual

No mínimo, os dados da tabela abaixo devem ser enviados à ANEEL. Cálculos mais completos poderão ser apresentados, desde que contemplem os itens abaixo. Dados específicos deste projeto de saneamento estão assinalados com asterisco e são sugestões no âmbito deste Guia.

Tabela 8 – Sistema Atual - Redução de perdas de água;

SISTEMA ATUAL			Sistema 1	Sistema 2	...	TOTAL
1*	Perdas de água (L/lig.dia ou m ³ /ano)	V_{ai}				
2*	Pressão média na rede ou na adutora	mca_{ai}				
3*	Consumo específico de energia para água bombeada	$(kWh/m^3)_{ai}$				
4	Potência nominal do motor (cv)	P_{ai}				
5	Carregamento	γ_{ai}				
6	Rendimento nominal (%)	η_{nai}				
6a	Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{ai}				
7	Quantidade	q_{ai}				
8	Potência instalada (kW)	$\frac{P_{ai}}{\eta_{nai}} = \frac{P_{ai} * 0,736 * q_{ai}}{\eta_{nai}}$				
9	Potência média utilizada (kW)	$Pu_{ai} = P_{ai} * \gamma_{ai} * \frac{\eta_{nai}}{\eta_{ai}}$				
10	Funcionamento (h/ano)	h_{ai}				
11	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{ai}				
12	Energia consumida (MWh/ano)	$E_{ai} = \frac{Pu_{ai} * h_{ai}}{1000}$				$E_a = \sum E_{ai}$
13	Demanda média na ponta (kW)	$D_{ai} = Pu_{ai} * FCP_{ai}$				$D_a = \sum D_{ai}$

*O sub-índice *ai* está relacionado ao sistema atual, onde *i* refere ao número do sistema.

Situação atual – notas de preenchimento e cálculo

Os motores responsáveis pelo abastecimento do sistema onde se verificará uma redução do volume elevado devem ser separados em sistemas individuais (sistema 1, sistema 2, ...).

1. Perdas de água¹⁸: Em projetos de redução de perdas de água deve ser indicado o volume de perdas de água atual no sistema onde ocorre a intervenção.

¹⁸ item específico para este tipo de projeto, não sendo indicado no Módulo 4 do PROPEE.

2. Pressão média¹⁹ na rede ou na adutora: Em projetos de redução de perdas de água, que trabalhem com gestão de pressões deve ser indicada pressão média de operação no sistema onde ocorre a intervenção. Pode também, ser referenciada a pressão no ponto mais favorável e no mais desfavorável em caso de incidir na rede de distribuição.
3. Consumo específico de energia por volume de água bombeada²⁰ – o valor deve ser obtido por medição de ambas as grandezas, volume(m³) e energia (kWh) apenas nos sistemas de bombeamento associados.
4. Potência nominal do motor (cv): Para cada sistema (motor ou conjunto de motores) preencher com a potência nominal do motor ou a soma das potências nominais dos motores agrupados. A unidade é o cv (cavalo vapor). Os motores devem ser agrupados com as mesmas características de instalação e funcionamento – potência, rotação, carregamento, horas de funcionamento. Usar tipos diferentes para trocas diferentes.
5. Carregamento corresponde ao carregamento médio do motor ou conjunto de motores. O carregamento pode ser obtido por medição ou cálculo matemático, cujo valor é dado por:

$$\text{Carregamento} = \frac{\text{Potência Requerida (kW)}}{\text{Potência Nominal (kW)}}$$

$$\text{Potência Requerida} = \frac{9,81 * Q_{ai} * H_{ai}}{\eta_{ai}} \text{ (kW)}$$

Onde:

Q_{ai} = vazão média requerida (m³/s)

H_{ai} = Altura manométrica (mca)

η_{ai} = Rendimento conjunto moto-bomba

A altura manométrica pode também ser obtida por meio da seguinte equação, cujas variáveis de entrada devem ser obtidas por medição ou estimativa na fase de ex-ante (proposta de projeto):

$$H = \left(P_{rec} + \frac{V_{rec}^2}{2 * g} \right) - \left(P_{suc} + \frac{V_{suc}^2}{2 * g} \right) + \Delta H_g$$

Onde:

H = Altura manométrica real (m);

P_{rec} = Pressão de recalque da bomba (mca);

P_{suc} = Pressão de sucção da bomba (mca);

V_{rec} = Velocidade na seção de recalque no ponto P_{rec} (m/s);

V_{suc} = Velocidade na seção de sucção no ponto P_{suc} (m/s);

g = Aceleração da gravidade (m/s²); e

ΔH_g = Desnível geométrico entre os pontos P_{rec} e P_{suc} .

O rendimento do conjunto moto-bomba é um importante componente para a eficiência energética. Quanto maior o rendimento da bomba, menor será a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia.

¹⁹ item específico para este tipo de projeto, não sendo indicado no Módulo 4 do PROPEE.

²⁰ item específico para este tipo de projeto, não sendo indicado no Módulo 4 do PROPEE.

6. Rendimento nominal (%): é o rendimento do motor informado no catálogo ou na placa do próprio equipamento.
6. a) Rendimento no ponto de carregamento (%): é o rendimento do motor quando em operação no ponto de carregamento identificado no item 5. O valor do rendimento é obtido diretamente na curva rendimento x carregamento dada pela fabricante ou por cálculo por sistemas computacionais.
7. Quantidade de motores do sistema considerado. Somente podem ser agrupados em um mesmo sistema motores com as mesmas características de instalação e funcionamento – potência, rotação, carregamento, horas de funcionamento.
8. Potência instalada (kW): é a potência elétrica nominal do motor resultante (convertidos cv em kW) da potência mecânica nominal entregue pelo eixo do motor, considerando-se ainda o próprio rendimento. A rigor, dever-se-ia utilizar o rendimento nominal.

$$P_{ai} = \frac{p_{ai} * 0,736 * q_{ai}}{\eta_{nai}}$$

Onde:

p_{ai} = Potência do motor no sistema i atual
 q_{ai} = Número de motores no sistema i atual
 η_{nai} = Rendimento nominal do motor no sistema i atual

9. Potência média utilizada (kW): é a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia considerando o carregamento médio do motor, que por sua vez foi calculado a partir da vazão média requerida.

$$Pu_{ai} = P_{ai} * \gamma_{ai} * \frac{\eta_{nai}}{\eta_{ai}}$$

Onde:

P_{ai} = Potência do motor no sistema i atual
 γ_{ai} = carregamento do motor no sistema i atual
 η_{nai} = Rendimento nominal do motor no sistema i atual
 η_{ai} = Rendimento do motor no sistema i atual

Deve ser dada atenção ao regime de produção no momento da medição e o valor médio considerado para a determinação das economias, sendo este último a utilizar.

10. Funcionamento (h/ano): tempo médio de funcionamento em horas durante um ano. Considerando que o sistema opera no horário de ponta do sistema elétrico, daí a ação de aumento da capacidade de reservação, o nº de horas diárias aproxima-se das 24 horas.
11. FCP (fator de coincidência na ponta): varia entre 0 e 1. Indica o percentual de equipamentos de um mesmo sistema que são utilizados no horário de ponta,

$$FCP = \frac{nm * nd * nup}{792}$$

Onde:

nm = número de meses de utilização do sistema no horário de ponta;
 nd = número de dias por mês de utilização em horário de ponta;
 nup = número de horas de utilização em horário de ponta; e

792 = número total de horas de ponta em 1 ano - (atenção que cada edital tem a informação do tempo a ser considerado para o cálculo que varia entre as distribuidoras de energia. Algumas consideram os feriados, outras não.)

12. Energia consumida (MWh/ano): é a energia total consumida em um ano considerando a potência média utilizada pelo sistema e o tempo de funcionamento informados nos itens 10 e 11.

$$E_{ai} = \frac{Pu_{ai} * h_{ai}}{1000}$$

Onde:

Pu_{ai} = Potência média utilizada no sistema i atual

h_{ai} = Horas de funcionamento no sistema i atual

13. Demanda média na ponta (kW): é a demanda média requerida pelo sistema considerando a potência média utilizada e o fator de coincidência na ponta informados nos itens 10 e 12.

$$D_{ai} = Pu_{ai} * FCP_{ai}$$

Onde:

Pu_{ai} = Potência média utilizada no sistema i atual

FCP_{ai} = fator de coincidência na ponta no sistema i atual

Determinação do sistema proposto

No mínimo, os dados da tabela abaixo devem ser enviados à ANEEL. Cálculos mais completos poderão ser apresentados, desde que contemplem os itens abaixo. Dados específicos deste projeto de saneamento estão assinalados com asterisco e são sugestões no âmbito deste Guia.

Tabela 9 – Sistema Proposto - Redução de perdas de água.

SISTEMA PROPOSTO				
	Sistema 1	Sistema 2	...	TOTAL
14*	Perdas de água (L/lig.dia ou m ³ /ano)	V		
15*	Pressão média na rede	Mca		
16*	Consumo específico de energia para água bombeada	(kWh/m^3)		
17	Potência nominal do motor (cv)	p_{pi}		
18	Carregamento (1)	γ_{pi}		
19	Rendimento nominal (%)	η_{npi}		
19a	Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{pi}		
20	Quantidade	q_{pi}		
21	Potência instalada (kW)	$P_{pi} = \frac{p_{pi} * 0,736 * q_{pi}}{\eta_{npi}}$		
22	Potência média utilizada (kW)	$Pu_{pi} = P_{pi} * \gamma_{pi} * \frac{\eta_{npi}}{\eta_{pi}}$		
23	Funcionamento (h/ano)	h_{pi}		

24	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{pi}	
25	Energia consumida (MWh/ano)	$E_{pi} = \frac{Pu_{pi} * h_{pi}}{1000}$	$E_p = \sum E_{pi}$
26	Demanda média na ponta (kW)	$D_{pi} = Pu_{p1} * FCP_{p1}$	$D_p = \sum D_{pi}$

*O subíndice pi está relacionado ao sistema proposto, onde i refere ao número do sistema.

Situação proposta – notas de preenchimento e cálculo

O primeiro passo é calcular o novo volume de água necessário para o abastecimento de água após as ações de redução de perdas. Uma vez estabelecido esse valor é possível determinar a nova vazão média e potência elétrica requeridas pelo sistema de bombeamento.

Os agrupamentos de motores eventualmente feitos na tabela da situação anterior devem ser exatamente os mesmos que na situação proposta.

14. Perdas de água²¹: Em projetos de redução de perdas de água deve ser indicado o volume de perdas de água previsto após a intervenção.
15. Pressão média²² na rede ou na adutora: Em projetos de redução de perdas de água, que trabalhem com gestão de pressões deve ser indicada pressão média de operação no sistema onde ocorre a intervenção.
7. Consumo específico de energia por volume de água bombeada²³ – o valor deve ser obtido por calculando ambas as grandezas, volume(m³) e energia (kWh).
16. Potência nominal do motor (cv): Para cada sistema (motor ou conjunto de motores) preencher com a potência nominal do motor ou a soma das potências nominais dos motores agrupados. A unidade é o cv (cavalo vapor).
Deve-se manter os mesmos agrupamentos feitos para a situação atual.
17. Carregamento: é o carregamento médio do motor ou conjunto de motores. O carregamento pode ser obtido por medição ou cálculo matemático, cujo valor é dado por:

$$\text{Carregamento} = \frac{\text{Potência Requerida (kW)}}{\text{Potência Nominal (kW)}}$$

$$\text{Potência Requerida} = \frac{9,81 * Q_{pi} * H_{pi}}{\eta_{pi}} \text{ (kW)}$$

Onde:

Q_{pi} = vazão média requerida (m³/s)

H_{pi} = Altura manométrica (mca)

η_{pi} = Rendimento conjunto moto-bomba

A altura manométrica é idêntica à situação atual, pois no projeto e redução de perdas de água não incide em intervenções na altura manométrica do conjunto moto-bomba.

²¹ item específico para este tipo de projeto, não sendo indicado no Módulo 4 do PROPEE.

²² item específico para este tipo de projeto, não sendo indicado no Módulo 4 do PROPEE.

²³ item específico para este tipo de projeto, não sendo indicado no Módulo 4 do PROPEE.

O carregamento do motor será reduzido em virtude da diminuição da vazão média requerida.

18. Rendimento nominal (%): é o rendimento do motor informado no catálogo ou na placa do próprio equipamento.
19. a) Rendimento no ponto de carregamento (%): é o rendimento do motor quando em operação no ponto de carregamento identificado no item 17. O valor do rendimento é obtido diretamente na curva rendimento x carregamento dada pela fabricante.
20. Quantidade de motores do sistema considerado. Somente podem ser agrupados em um mesmo sistema motores com as mesmas características de instalação e funcionamento – potência, rotação, carregamento, horas de funcionamento.

Esse valor deve permanecer o mesmo face à situação atual.

21. Potência instalada (kW): é a potência elétrica nominal do motor resultante (convertidos cv em kW) da potência mecânica nominal entregue pelo eixo do motor, considerando-se ainda o próprio rendimento.

$$P_{pi} = \frac{p_{pi} * 0,736 * q_{pi}}{\eta_{npi}}$$

Onde:

p_{pi} = Potência do motor no sistema i proposto
 q_{pi} = Número de motores no sistema i proposto
 η_{npi} = Rendimento nominal do motor no sistema i proposto

22. Potência média utilizada (kW): é a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia considerando o carregamento médio do motor, que por sua vez foi calculado a partir da vazão média requerida.

$$Pu_{pi} = P_{pi} * \gamma_{pi} * \frac{\eta_{npi}}{\eta_{pi}}$$

Onde:

P_{pi} = Potência do motor no sistema i proposto
 γ_{pi} = carregamento do motor no sistema i atual
 η_{npi} = Rendimento nominal do motor no sistema i proposto
 η_{pi} = Rendimento nominal do motor no sistema i proposto

23. Funcionamento (h/ano): tempo médio de funcionamento em horas durante um ano
24. FCP (fator de coincidência na ponta): varia entre 0 e 1. Indica o percentual de equipamentos de um mesmo sistema que são utilizados no horário de ponta.

$$FCP = \frac{nm * nd * nup}{792}$$

Onde:

nm = número de meses de utilização dos sistemas no horário de ponta.
 nd = número de dias por mês de utilização em horário de ponta
 nup = número de horas de utilização em horário de ponta

792 = número total de horas de ponta em 1 ano - (atenção que cada edital tem a informação do tempo a ser considerado para o cálculo que varia entre as distribuidoras de energia. Algumas consideram os feriados, outras não.)

25. Energia consumida (MWh/ano): é a energia total consumida em um ano considerando a potência média utilizada pelo sistema e o tempo de funcionamento.

$$E_{pi} = \frac{Pu_{pi} * h_{pi}}{1000}$$

Onde:

Pu_{pi} = Potência média utilizada no sistema i proposto

h_{pi} = Horas de funcionamento no sistema i proposto

26. Demanda média na ponta (kW): é a demanda média requerida pelo sistema considerando a potência média utilizada e o fator de coincidência.

$$D_{pi} = Pu_{pi} * FCP_{pi}$$

Onde:

Pu_{pi} = Potência média utilizada no sistema i proposto

FCP_{pi} = fator de coincidência na ponta no sistema i proposto

Resultados esperados

No mínimo, os dados da tabela abaixo devem ser enviados à ANEEL. Cálculos mais completos poderão ser apresentados, desde que contemplem os itens abaixo. Dados específicos deste projeto de saneamento estão assinalados com asterisco e são sugestões no âmbito deste Guia.

Tabela 10 – Resultado Esperado - Redução de perdas de água.

RESULTADOS ESPERADOS			
		Sistema 1	Sistema 2 ... TOTAL
33	Redução de demanda na ponta (kW)	$RDP_i = D_{ai} - D_{pi}$	$RDP = \sum RDP_i$
34	Redução de demanda na ponta (%)	$RDP\% = \frac{RDP_i}{D_{ai}} * 100$	$RDP\% = \frac{RDP}{D_a} * 100$
35	Energia economizada (MWh/ano)	$EE_i = E_{ai} - E_{pi}$	$EE = \sum EE_i$
36	Energia economizada (%)	$EE\% = \frac{EE_i}{E_{ai}} * 100$	$EE\% = \frac{EE}{E_a} * 100$
37	Redução de perdas de água (m ³)	$AE_i = A_{ai} - A_{pi}$	$AE = \sum AE_i$
38	Água economizada (%)	$AE\% = \frac{AE_i}{A_{ai}} * 100$	$AE\% = \frac{AE}{A_a} * 100$

Esta tipologia de projeto implica tanto na redução do consumo de energia elétrica quanto na retirada de demanda na ponta, se existente, dos sistemas de bombeamento que estão na origem da rede de distribuição objeto das ações de eficiência energética.

Por essa razão, as grandezas elétricas envolvidas são calculadas em função da operação dos motores que estão na fronteira entre os sistemas de distribuição de água e de energia elétrica, ainda que a ação seja a redução das perdas de água.

As seguintes fórmulas expressam os resultados esperados de energia evitada e de demanda reduzida na ponta:

36. Energia economizada

A determinação das economias está diretamente relacionada aos indicadores kWh/m³, Volume de perdas reais (m³). A redução das perdas reais reduz a demanda por volumes de águas até então perdidas, reduz o bombeamento e, conseqüentemente, reduz o consumo de energia elétrica dos motores responsáveis por esse bombeamento.

Entretanto, faz-se necessária a redação de uma memória de cálculo que demonstre a relação entre o consumo de energia elétrica e o volume de água bombeado a fim de garantir melhor entendimento por parte do órgão regulador e da distribuidora de energia elétrica.

A economia de energia é obtida através do consumo específico de energia para a elevação da água e a multiplicação da água que se evitou perder conforme fórmula a seguir:

$$EE = \frac{kWh}{m^3} * V * 10^{-3}$$

Onde:

EE = Energia economizada em MWh/ano

$\frac{kWh}{m^3}$ = consumo específico de energia da elevação de água no sistema i atual

V = Volume de água não perdido em m³/ano

O método preconizado pelos sistemas motrizes do PROPEE segue a derivação pela potência do motor conforme segue:

$$EE = \left[\sum_{\text{sistema } i} \left(\frac{q_{ai} * p_{ai} * 0,736 * \gamma_{ai}}{\eta_{ai}} * h_{ai} - \frac{q_{pi} * p_{pi} * 0,736 * \gamma_{pi}}{\eta_{pi}} * h_{pi} \right) \right] * 10^{-3}$$

Onde:

EE = Energia economizada em MWh/ano

q_{ai} = Número de motores no sistema i atual

p_{ai} = Potência do motor no sistema i atual em cv

γ_{ai} = Carregamento do motor no sistema i atual

η_{ai} = Rendimento do motor no sistema i atual

h_{ai} = Tempo de funcionamento no sistema i atual em h/ano

0,736 = Conversão de cv para kW em kW/cv

q_{pi} = Número de motores no sistema i proposto

p_{pi} = Potência do motor no sistema i proposto em cv

γ_{pi} = Carregamento do motor no sistema i proposto

η_{pi} = Rendimento do motor no sistema i proposto

h_{pi} = Tempo de funcionamento no sistema i proposto em h/ano

* h_{pi} só é diferente de h_{ai} quando houver alguma mudança operacional implementada pelo projeto, que o justifique.

37. Redução de demanda na ponta

$$RDP = \sum_{\text{sistema } i} (P_{pi} * \gamma_{pi} * \frac{\eta_{npi}}{\eta_{pi}} * FCP_{pi} - P_{ai} * \gamma_{ai} * \frac{\eta_{nai}}{\eta_{ai}} * FCP_{ai})$$

Onde:

RDP = Redução de demanda na ponta em kW
 P_{pi} = Potência do motor no sistema i proposto em cv
 γ_{pi} = Carregamento do motor no sistema i proposto
 η_{npi} = Rendimento nominal do motor no sistema i proposto
 η_{pi} = Rendimento do motor no sistema i proposto
 FCP_{pi} = Fator de coincidência na ponta no sistema i proposto
 P_{ai} = Potência do motor no sistema i atual em cv
 γ_{ai} = Carregamento do motor no sistema i atual
 η_{nai} = Rendimento nominal do motor no sistema i atual
 η_{ai} = Rendimento do motor no sistema i atual
 FCP_{ai} = Fator de coincidência na ponta no sistema i atual

* FCP_{pi} só é diferente de FCP_{ai} quando houver alguma mudança no sistema implementada pelo projeto, que o permita.

38. Redução de perdas de água

Este item específico não vem indicado no Módulo 4 do PROPEE, porém é uma das grandezas chave para os projetos de redução de perdas de água.

$$AE_i = A_{ai} - A_{pi}$$

AE_i = Água economizada (perdas evitadas) no sistema i em m^3
 A_{ai} = Perdas reais de água no sistema i atual
 A_{pi} = Perdas reais de água no sistema i proposto

39. Água economizada

Este item específico não vem indicado no Módulo 4 do PROPEE, porém é uma das grandezas chave para os projetos de redução de perdas de água.

$$AE\% = \frac{AE_i}{A_{ai}} * 100$$

AE_i = Água economizada sistema i proposto em m^3
 A_{ai} = Perdas reais de água no sistema i atual

3.4. Aumento do volume reservado – Redução de demanda na ponta

Para efeitos de eficiência energética, uma adequada capacidade de reserva de água de um sistema de abastecimento permite evitar o funcionamento das estações de bombeamento durante o horário de ponta. Nesse horário os custos das tarifas de consumo e demanda são maiores, pois a medição é feita em alta tensão e as tarifas contratadas são horárias (modalidades azul e verde).

A construção do reservatório ou ampliação da capacidade de reserva simplesmente transfere o uso da mesma energia necessária no horário de ponta para o período fora de ponta, fato que pode trazer ganhos financeiros sob o ponto de vista do prestador de serviços. A ressalva é que as bombas e as adutoras não podem ser uma condicionante a operar fora de ponta.

Caso haja possibilidade operacional no sistema, podem ser programados, através de automação, os desligamentos e acionamento dos motores, evitando a operação das estações de bombeamento em horário de ponta, mantendo a garantia do pleno abastecimento de água.

Entretanto, do ponto de vista do PEE, quando não há efetiva redução do consumo de energia elétrica, somente a demanda retirada na ponta traz resultados para o sistema elétrico como um todo.

O horário de ponta é determinado pela concessionária distribuidora de energia elétrica em um período de 3 horas contínuas que pode variar entre 17h30min e 21h59min, dependendo da região e da época do ano (altera com o horário de verão). Para evitar o bombeamento durante esse horário é necessário manter um volume de água reservado capaz de atender à demanda de consumo de água pela população durante as três horas desse período, sem causar riscos de desabastecimentos em casos fortuitos como incêndios, defeitos, rompimentos em adutoras ou falta de energia elétrica.

Portanto, os estudos e projetos para esses casos devem considerar os custos de construção de novos reservatórios frente aos custos evitados com energia elétrica, consumo e demanda no horário de ponta.

A ação de eficiência energética em aumento do volume reservado cobertas por este item refere-se à

- a) construção de reservatórios
- b) automação que com paradas e arranques que evitem a operação em horário de ponta

Determinação da situação atual

No mínimo, os dados da tabela abaixo devem ser enviados à ANEEL. Cálculos mais completos poderão ser apresentados, desde que contemplem os itens abaixo. Dados específicos deste projeto de saneamento estão assinalados com asterisco e são sugestões no âmbito deste Guia.

Tabela 11 - Sistema Atual- Aumento do Volume Reservado.

SISTEMA ATUAL		Sist.1	Sist. 2	...	TOTAL
1*	Volume de Reserva (m ³)	V_{ai}			
2	Potência nominal do motor (cv)	p_{ai}^*			
3	Carregamento	γ_{ai}			
4a	Rendimento nominal (%)	η_{nai}			
4a	Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{ai}			
5	Quantidade	q_{ai}			
6	Potência instalada (kW)	$P_{ai} = \frac{p_{ai} * 0,736 * q_{ai}}{\eta_{nai}}$			
7	Potência média utilizada (kW)	$Pu_{ai} = P_{ai} * \gamma_{ai} * \frac{\eta_{nai}}{\eta_{ai}}$			
8	Funcionamento (h/ano)	h_{ai}			
9	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{ai}			
10	Energia consumida (MWh/ano)	$E_{ai} = \frac{Pu_{ai} * h_{ai}}{1000}$			$E_a = \sum E_{ai}$

11	Demanda média na ponta (kW)	$D_{ai} = Pu_{ai} * FCP_{ai}$	$D_a = \sum D_{ai}$
----	-----------------------------	-------------------------------	---------------------

*O sub-índice ai está relacionado ao sistema atual, onde i refere ao número do sistema.

Situação atual – notas de preenchimento e cálculo

Os motores responsáveis pelo abastecimento do sistema que receberá a ação de eficiência aumento do volume reservado ou automação devem ser separados em sistemas individuais (sistema 1, sistema 2, ...). Motores iguais e com mesmo regime de funcionamento podem ser agrupados em um único sistema.

1. Indicar o volume de reserva atual²⁴
2. Potência nominal do motor (cv): Para cada sistema (motor ou conjunto de motores) preencher a potência nominal do motor ou a soma das potências nominais dos motores agrupados. A unidade é o cv (cavalo vapor).
3. Carregamento corresponde ao carregamento médio do motor ou conjunto de motores. O carregamento pode ser obtido por medição ou cálculo matemático, cujo valor é dado por:

$$\text{Carregamento} = \frac{\text{Potência Requerida (kW)}}{\text{Potência Nominal (kW)}}$$

$$\text{Potência Requerida} = \frac{9,81 * Q_{ai} * H_{ai}}{\eta_{ai}} \text{ (kW)}$$

Onde:

Q_{ai} = vazão média requerida (m³/s)

H_{ai} = Altura manométrica (mca)

η_{ai} = Rendimento conjunto moto-bomba

A altura manométrica pode também ser obtida por meio da seguinte equação, cujas variáveis de entrada devem ser obtidas por medição ou estimativa na fase de ex-ante (proposta de projeto):

$$H = \left(P_{rec} + \frac{V_{rec}^2}{2 * g} \right) - \left(P_{suc} + \frac{V_{suc}^2}{2 * g} \right) + \Delta H_g$$

Onde:

H = Altura manométrica real (m);

P_{rec} = Pressão de recalque da bomba (mca);

P_{suc} = Pressão de sucção da bomba (mca);

V_{rec} = Velocidade na seção de recalque no ponto P_{rec} (m/s);

V_{suc} = Velocidade na seção de sucção no ponto P_{suc} (m/s);

g = Aceleração da gravidade (m/s²); e

ΔH_g = Desnível geométrico entre os pontos P_{rec} e P_{suc} .

4. Rendimento nominal (%): é o rendimento do motor informado no catálogo ou na placa do próprio equipamento.
4. a) Rendimento no ponto de carregamento (%): é o rendimento do motor quando em operação no ponto de carregamento identificado no item 3. O valor do rendimento é obtido diretamente na curva rendimento x carregamento dada pela fabricante, ou por cálculo por sistemas computacionais.

²⁴ item específico para este tipo de projeto, não sendo indicado no Módulo 4 do PROPEE.

- Quantidade de motores do sistema considerado. Somente podem ser agrupados em um mesmo sistema motores com as mesmas características de instalação e funcionamento – potência, rotação, carregamento, horas de funcionamento.
- Potência instalada (kW): é a potência elétrica nominal do motor resultante (convertidos cv em kW) da potência mecânica nominal entregue pelo eixo do motor, considerando-se ainda o próprio rendimento. A rigor, dever-se-ia utilizar o rendimento nominal.

$$P_{ai} = \frac{p_{ai} * 0,736 * q_{ai}}{\eta_{nai}}$$

Onde:

p_{ai} = Potência do motor no sistema i atual
 q_{ai} = Número de motores no sistema i atual
 η_{nai} = Rendimento nominal do motor no sistema i atual

- Potência média utilizada (kW): é a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia considerando o carregamento médio do motor, que por sua vez foi calculado a partir da vazão média requerida:

$$Pu_{ai} = P_{ai} * \gamma_{ai} * \frac{\eta_{nai}}{\eta_{ai}}$$

Onde:

P_{ai} = Potência do motor no sistema i atual
 γ_{ai} = carregamento do motor no sistema i atual
 η_{nai} = Rendimento nominal do motor no sistema i atual
 η_{ai} = Rendimento do motor no sistema i atual

Deve ser dada atenção ao regime de produção no momento da medição e o valor médio considerado para a determinação das economias, sendo este último a utilizar.

- Funcionamento (h/ano): tempo médio de funcionamento em horas durante um ano. Considerando que o sistema opera no horário de ponta do sistema elétrico, daí a ação de aumento da capacidade de reservação, o nº de horas diárias aproxima-se das 24 horas.
- FCP (Fator de Coincidência na Ponta): varia entre 0 e 1. Indica o percentual de equipamentos de um mesmo sistema que são utilizados no horário de ponta.

$$FCP = \frac{nm * nd * nup}{792}$$

Onde:

nm = número de meses de utilização do sistema no horário de ponta;
 nd = número de dias por mês de utilização em horário de ponta;
 nup = número de horas de utilização em horário de ponta; e
 792 = número total de horas de ponta em 1 ano - (atenção que cada edital tem a informação do tempo a ser considerado para o cálculo que varia entre as distribuidoras de energia. Algumas consideram os feriados, outras não.)

- Energia consumida (MWh/ano): é a energia total consumida em um ano considerando a potência média utilizada pelo sistema e o tempo de funcionamento informados nos itens 7 e 8:

$$E_{ai} = \frac{Pu_{ai} * h_{ai}}{1000}$$

Onde:

Pu_{ai} = Potência média utilizada no sistema i atual

h_{ai} = Horas de funcionamento no sistema i atual

11. Demanda média na ponta (kW): é a demanda média requerida pelo sistema considerando a potência média utilizada e o fator de coincidência na ponta informados nos itens 7 e 9:

$$D_{ai} = Pu_{ai} * FCP_{ai}$$

Onde:

Pu_{ai} = Potência média utilizada no sistema i atual

FCP_{ai} = fator de coincidência na ponta no sistema i atual

Determinação do sistema proposto

No mínimo, os dados da tabela abaixo devem ser enviados à ANEEL. Cálculos mais completos poderão ser apresentados, desde que contemplem os itens abaixo. Dados específicos deste projeto de saneamento estão assinalados com asterisco e são sugestões no âmbito deste Guia.

Tabela 12 - Sistema Proposto - Aumento do Volume Reservado.

SISTEMA PROPOSTO				
		Sistema 1	Sistema 2	... TOTAL
12*	Volume de Reservação (m ³)	V_{pi}		
13	Potência nominal do motor (cv)	p_{pi}		
14	Carregamento	γ_{pi}		
15	Rendimento nominal (%)	η_{npi}		
15a	Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{pi}		
16	Quantidade	q_{pi}		
17	Potência instalada (kW)	$P_{pi} = \frac{p_{pi} * 0,736 * q_{pi}}{\eta_{npi}}$		
18	Potência média utilizada (kW)	$Pu_{pi} = P_{pi} * \gamma_{pi} * \frac{\eta_{npi}}{\eta_{pi}}$		
19	Funcionamento (h/ano)	h_{pi}		
20	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{pi}		
21	Energia consumida (MWh/ano)	E_{pi}		$E_p = \sum E_{pi}$
22	Demanda média na ponta (kW)	D_{pi}		$D_p = \sum D_{pi}$

*O subíndice pi está relacionado ao sistema proposto, onde i refere ao número do sistema.

Os ganhos de eficiência energética propostos por este tipo de projeto estão relacionados às demandas (kW) dos motores que deixarão de operar no horário de ponta. Uma vez que o volume de água que será utilizado pela população durante as 3 horas do horário de ponta será bombeado para o reservatório antecipadamente.

Por esta razão, as grandezas elétricas envolvidas são calculadas em função da operação dos motores que estão na fronteira entre os sistemas de distribuição de água e de energia elétrica, ainda que a ação seja a construção de reservatórios.

As energias consumidas antes e depois da ação de eficiência energética normalmente permanecem as mesmas. Por consequência, a redução de consumo de energia elétrica é nula.

Em contrapartida, o fator de coincidência na ponta e a demanda média na ponta é nula após a execução da ação de eficiência energética, de tal sorte que, a eliminação da demanda de ponta é o principal ganho de eficiência proposto pela ação sob a ótica do PEE.

Caso outras ações de eficiência energética sejam adotadas de forma combinada com o aumento do volume reservado, a tabela acima deve retratar exatamente a situação proposta pelas ações conjuntas. Em ações combinadas percebe-se também a redução do consumo de energia elétrica. Entretanto, faz-se necessária a redação de uma memória de cálculo que demonstre a participação de cada ação nos resultados de eficiência esperados a fim de garantir melhor entendimento por parte do órgão regulador e da distribuidora de energia elétrica.

Situação proposta – notas de preenchimento e cálculo

O primeiro passo é calcular o volume de água necessário para o abastecimento de água durante as 3 horas do período de ponta, o que envolve a definição do consumo médio bem como a previsão de volumes necessários às situações de emergência – incêndios e defeitos na rede de distribuição, falta de energia elétrica – e à manutenção da pressão mínima necessária ao abastecimento.

Uma vez estabelecidos os volumes adicionais de água a serem bombeados para o novo reservatório, objeto da ação de eficiência energética, é possível determinar a nova vazão média e potência elétrica requeridas pelo sistema de bombeamento. Entretanto, caso não haja incremento de volume bombeado em relação à situação anterior, os resultados dos cálculos de carregamento, potência elétrica e energia permanecem os mesmos.

Os agrupamentos de motores eventualmente feitos na tabela da situação anterior devem ser exatamente os mesmos que na situação proposta, ainda que, em alguns sistemas, possa haver aumento da energia consumida ou da demanda. Espera-se, entretanto, que a soma de todos os acréscimos e reduções de todos os sistemas resultem em economia de energia e/ou redução de demanda na ponta.

12. Indicar a capacidade de reservação²⁵ proposta.

13. Potência nominal do motor (cv): Para cada sistema (motor ou conjunto de motores) preencher com a potência nominal do motor ou a soma das potências nominais dos motores agrupados. A unidade é o cv (cavalo vapor).

Deve-se manter os mesmos agrupamentos feitos para a situação atual.

No caso de aumento de reservação, é provável que os motores permaneçam os mesmos da situação atual.

14. Carregamento corresponde ao carregamento médio do motor ou conjunto de motores. O carregamento pode ser obtido por medição ou cálculo matemático, cujo valor é dado por:

²⁵ item específico para este tipo de projeto, não sendo indicado no Módulo 4 do PROPEE.

$$\text{Carregamento} = \frac{\text{Potência Requerida (kW)}}{\text{Potência Nominal (kW)}}$$

$$\text{Potência Requerida} = \frac{9,81 * Q_{pi} * H_{pi}}{\eta_{pi}} \text{ (kW)}$$

Onde:

Q_{pi} = vazão média requerida (m³/s)

H_{pi} = Altura manométrica (mca)

η_{pi} = Rendimento do conjunto moto-bomba

Em geral a altura manométrica é idêntica à situação atual, pois, no aumento de reservação ou na parada em horário de ponta não incidem em intervenções na altura manométrica do conjunto motobomba. Caso haja uma redução de velocidade de bombeamento e conseqüentemente menor atrito, porém existir uma redução de altura manométrica. Esse valor deve ser obtido por modelagem hidráulica.

O carregamento do motor será reduzido em virtude da diminuição da vazão média requerida.

O carregamento do motor também tende a permanecer o mesmo na situação proposta, a menos que a vazão média requerida seja maior que a vazão anterior ou ainda que algum motor e/ou a bomba sejam substituídos.

15. Rendimento nominal (%): é o rendimento do motor informado no catálogo ou na placa do próprio equipamento. Este valor também tende a permanecer o mesmo, a menos que algum motor seja substituído.

15. a) Rendimento no ponto de carregamento (%): é o rendimento do motor quando em operação no ponto de carregamento identificado no item 14. O valor do rendimento é obtido diretamente na curva rendimento x carregamento dada pela fabricante.

Esse valor também tende a permanecer o mesmo, a menos que a vazão média requerida seja maior que a vazão anterior ou ainda que algum motor e/ou a bomba sejam substituídos.

16. Quantidade de motores do sistema considerado. Somente podem ser agrupados em um mesmo sistema motores com as mesmas características de instalação e funcionamento – potência, rotação, carregamento, horas de funcionamento. Este valor deve permanecer o mesmo.

17. Potência instalada (kW): é a potência elétrica nominal do motor resultante (convertidos cv em kW) da potência mecânica nominal entregue pelo eixo do motor, considerando-se ainda o próprio rendimento.

Este valor também tende a permanecer o mesmo, a menos que algum motor seja substituído.

$$P_{pi} = \frac{p_{pi} * 0,736 * q_{pi}}{\eta_{mpi}}$$

Onde:

p_{pi} = Potência do motor no sistema i proposto

q_{pi} = Número de motores no sistema i proposto
 η_{npi} = Rendimento nominal do motor no sistema i proposto

18. Potência média utilizada (kW): é a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia considerando o carregamento médio do motor, que por sua vez foi calculado a partir da vazão média requerida:

Este valor também tende a permanecer o mesmo, a menos que a vazão média requerida seja maior que a vazão anterior ou ainda que algum motor e/ou a bomba sejam substituídos.

$$Pu_{pi} = P_{pi} * \gamma_{pi} * \frac{\eta_{npi}}{\eta_{pi}}$$

Onde:

P_{pi} = Potência do motor no sistema i proposto
 γ_{pi} = carregamento do motor no sistema i atual
 η_{npi} = Rendimento nominal do motor no sistema i proposto
 η_{pi} = Rendimento nominal do motor no sistema i proposto

19. Funcionamento (h/ano): tempo médio de funcionamento em horas durante um ano. Considerando que o sistema não deve operar no horário de ponta do sistema elétrico em virtude da ação de aumento da capacidade de reservação, o nº de horas diárias é inferior a 21 horas, para se evitar o horário de ponta na totalidade.
20. FCP (fator de coincidência na ponta): varia entre zero e um. Indica o percentual de equipamentos de um mesmo sistema que são utilizados no horário de ponta:

$$FCP = \frac{nm * nd * nup}{792}$$

Onde:

nm = número de meses de utilização do sistema no horário de ponta;
 nd = número de dias por mês de utilização em horário de ponta;
 nup = número de horas de utilização em horário de ponta; e
792 = número total de horas de ponta em 1 ano - (atenção que cada edital tem a informação do tempo a ser considerado para o cálculo que varia entre as distribuidoras de energia. Algumas consideram os feriados, outras não.)

Considerando que o sistema não deve operar no horário de ponta do sistema elétrico em virtude do objetivo da ação de aumento da capacidade de reservação, espera-se um FCP igual a zero, sendo este o principal ganho do projeto em termos elétricos.

21. Energia consumida (MWh/ano): é a energia total consumida em um ano considerando a potência média utilizada pelo sistema e o tempo de funcionamento.

Este valor mantém-se idêntico à situação atual em projetos de operar fora do horário de ponta, salvo se houver outras medidas complementares.

$$E_{pi} = \frac{Pu_{pi} * h_{pi}}{1000}$$

Onde:

Pu_{pi} = Potência média utilizada no sistema i proposto

h_{pi} = Horas de funcionamento no sistema i proposto

22. Demanda média na ponta (kW): é a demanda média requerida pelo sistema considerando a potência média utilizada e o fator de coincidência.

A redução de demanda é a mais valia deste projeto para efeitos do setor elétrico. Aqui a situação proposta distingue-se bastante, face à situação atual.

$$D_{pi} = Pu_{pi} * FCP_{pi}$$

Onde:

Pu_{pi} = Potência média utilizada no sistema i proposto

FCP_{pi} = fator de coincidência na ponta no sistema i proposto

Resultados esperados

No mínimo, os dados da tabela abaixo devem ser enviados à ANEEL. Cálculos mais completos poderão ser apresentados, desde que contemplem os itens abaixo.

Tabela 13 – Resultados Esperados- Aumento do Volume Reservado.

RESULTADOS ESPERADOS			
		Sistema 1	Sistema 2 ... TOTAL
23	Redução de demanda na ponta (kW)	$RDP_i = D_{ai} - D_{pi}$	$RDP = \sum RDP_i$
24	Redução de demanda na ponta (%)	$RDP\% = \frac{RDP_i}{D_{ai}} * 100$	$RDP\% = \frac{RDP}{D_a} * 100$
25	Energia economizada (MWh/ano)	$EE_i = E_{ai} - E_{pi}$	$EE = \sum EE_i$
26	Energia economizada (%)	$EE\% = \frac{EE_i}{E_{ai}} * 100$	$EE\% = \frac{EE}{E_a} * 100$

A seguinte fórmula expressa os resultados esperados de demanda reduzida na ponta. Não são economias de energia.

$$RDP = \sum_{\text{sistema } i} (P_{pi} * \gamma_{pi} * \frac{\eta_{npi}}{\eta_{pi}} * FCP_{pi} - P_{ai} * \gamma_{ai} * \frac{\eta_{nai}}{\eta_{ai}} * FCP_{ai})$$

Onde:

RDP = Redução de demanda na ponta em kW

P_{pi} = Potência do motor no sistema i proposto em cv

γ_{pi} = Carregamento do motor no sistema i proposto

η_{npi} = Rendimento nominal do motor no sistema i proposto

η_{pi} = Rendimento do motor no sistema i proposto

FCP_{pi} = Fator de coincidência na ponta no sistema i proposto

P_{ai} = Potência do motor no sistema i atual em cv

γ_{ai} = Carregamento do motor no sistema i atual

η_{nai} = Rendimento nominal do motor no sistema i atual

η_{ai} = Rendimento do motor no sistema i atual

FCP_{ai} = Fator de coincidência na ponta no sistema i atual

* FCP_{pi} só é diferente de FCP_{ai} quando houver alguma mudança no sistema implementada pelo projeto, que o permita, como é o caso do aumento de reservação.

3.5. Outras medidas de eficiência energética

O presente capítulo apresenta outras medidas que implicam na redução do consumo de energia elétrica.

- Diversas medidas de redução das perdas de carga
- Alteração na disposição do sistema de abastecimento
- Instrumentação e automação
- Aeração mais eficiente em estações de tratamento de esgoto
- Redução do consumo de água no usuário final

São ações que podem ser adotadas em conjunto com as tipologias de projetos apresentadas no capítulo anterior, cujos resultados devem ser retratados em forma de redução de consumo e/ou demanda dos sistemas de bombeamento, situados na fronteira entre os sistemas hidráulico e elétrico, onde os efeitos da economia de energia são efetivamente percebidos, isto é, no sistema motriz.

A melhor forma de considerar essas medidas dentro de um projeto do PEE é uma decisão estratégica quando o projeto concorre por recursos de uma chamada pública de projetos. Tomada de forma isolada ou em conjunto com uma das tipologias de projetos apresentadas no capítulo anterior, depende de uma correta interpretação dos requisitos dos editais de chamada pública das distribuidoras de energia elétrica que podem ser diferentes entre si.

Diversas medidas de redução das perdas de carga

As perdas de carga nas adutoras representam perdas energéticas. Elas variam em função do material da tubulação, do seu revestimento interno, do comprimento do trecho de recalque, do diâmetro da tubulação de recalque e da velocidade de escoamento.

Exemplos de redução de perda de carga são:

- Limpezas interna de adutoras. É uma boa prática reduzir a rugosidade interna normalmente constituída por incrustações formadas ao longo do tempo pela qualidade da água ou por biofilme. A reposição de melhores rugosidades das paredes internas de adutoras se pode efetuar com o uso de *poly pigs*.
- Remoção de vórtices no tubo de sucção de água para bombas.
- Redução de fenômenos de cavitação nos rotores das bombas.
- Suavização de curvas acentuadas no traçado de tubulações ou suavização em estreitamentos e alargamentos bruscos nos diâmetros.
- Duplicação de tubulações; modificação de traçado; aumento de diâmetro; substituição de tubulações por outras de material de menor coeficiente de atrito
- Instalação de equipamentos para remoção de ar (ventosas), etc.

O coeficiente de atrito é função da rugosidade das paredes internas do tubo. Conseqüentemente, tubos mais lisos oporão menos resistência ao escoamento e apresentarão menos perda de carga. Velocidades de escoamento mais lentas também reduzem a perda de carga.

Fatores que aumentam o atrito nos tubos são: idade, principalmente em tubos de ferro e aço, devido à corrosão, incrustações (águas duras ou básicas) e surgimento de tubérculos (águas ácidas). Outro fator que afeta a rugosidade interna e as perdas de carga por atrito em uma canalização se relaciona às bolhas de ar no interior das mesmas, que obstruem a passagem do fluido e aumentam a resistência contra o escoamento. Portanto, o dimensionamento criterioso e a instalação de equipamentos para a expulsão do ar de trechos adutores, principalmente de comprimentos maiores, são importantes nos projetos de tubulações.

A velocidade de escoamento é função da vazão e do diâmetro. Para uma mesma vazão, quanto maior o diâmetro, menor será a velocidade e, portanto, menores serão as perdas de carga.

Pequenas alterações em infraestruturas existentes podem eliminar perdas de carga causadas por vórtices, gerados pelo movimento rotacional da água, principalmente em regimes turbulentos. A formação de vórtices em reservatórios e poços de sucção causa: a entrada de ar nas bombas, reduzindo a eficiência das mesmas (1% de ar resulta em redução de 15% do rendimento); modificação da distribuição das velocidades no rotor, com desempenho insatisfatório e redução da vazão; vibrações estruturais que causam desgastes e rupturas em componentes das bombas; variação rápida da pressão no centro do vórtice, provocando vibração e cavitação.

Projetos típicos para redução de vórtices são: modificações estruturais em poços de sucção, com construção de paredes divisórias e instalação de aparelhos direcionadores e redutores de velocidade (grades e refletores) e/ou aumento/rebaixamento do poço/canal e do diâmetro das tubulações de sucção para redução da velocidade ($v < 0,6 \text{ m/s}$).

Outro aspecto importante é a revisão periódica da oferta de fornecedores de energia elétrica alternativos, como a geração própria de energia através de fontes renováveis (fotovoltaicas, hídricas, eólicas, biogás etc.) Convém destacar que no estudo para emprego de fontes renováveis deverá ser considerado o custo para a manutenção deste sistema em condições operacionais (peças de reposição e serviços especializados), lembrando que a atividade principal das empresas de saneamento é prover serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário para a população e não gerar eletricidade.

Alteração na disposição do sistema de abastecimento

Pode existir potencial de economia de energia em alterações no layout do sistema que conduzam a maiores níveis de eficiência energética. Exemplos disso são:

- Construção de reservatórios de distribuição em cotas mais baixas, requerendo menos elevação de água, ou gerando menos pressão de serviço no sistema e consequentemente menos perdas,
- Delimitação de setores de pressão e construção de anéis de abastecimento de água em zonas urbanas em detrimento de abastecimento por rede malhada indiferenciada,
- Alterações no traçado de adutoras evitando desníveis altos, realização de túneis através de elevações topográficas em detrimento de subir e descer,
- Redução de pressão de serviço em setores e instalação de boosters para zonas topográficas com elevação especial,
- Captação de água em origens com cota que necessitam de menos bombeamento (subterrânea versus superficial, por gravidade versus por bombeamento)
- Ajustes da altura em tanques de ETE ou ETAs

A viabilidade econômica destas medidas tem de ser equacionada: os custos de investimento iniciais elevados devem ser menores que resultantes dos ganhos de eficiência.

Projetos típicos são: seleção de captações que tenham um índice de consumo específico menor (kWh/m^3); alteração na disposição de reservatórios ou novos traçados de adutoras para

beneficiar-se do potencial gravitacional existente e zoneamento de pressões na rede de abastecimento; etc.

Geralmente estas medidas exigem a reconfiguração da infraestrutura de abastecimento de água e a adequação do crescimento urbano da cidade aos consumos de água e às respectivas cotas. As ações devem manter o atendimento de parâmetros mínimos e máximos (pressões, velocidades, qualidade da água), conforme os valores estabelecidos nas normas de engenharia vigentes.

Instrumentação e automação

A operação dos sistemas de abastecimento de água, no Brasil, ainda é majoritariamente manual. Isso significa que os funcionários dos prestadores de serviço são responsáveis pelo acompanhamento das grandezas (vazões, pressões, níveis e demais variáveis hidráulicas, mecânicas e elétricas) das instalações do sistema, pela operação dessas instalações (abrir e fechar válvulas, partir e parar estações de bombeamento, operar as estações de tratamento, etc.) e pelos demais serviços relacionados, como monitoramento de vazamentos, rompimentos e faltas d'água, manutenção, limpeza e conservação das unidades.

O fato de estações elevatórias não estarem equipadas com a instrumentação mínima (medições do nível dinâmico da água, da pressão a montante, da pressão a jusante e da vazão) impede que o prestador de serviço conheça o nível de rendimento dos conjuntos motor-bombas. Assim, sucede que bombas com um rendimento insatisfatório continuem a operar sem gerar informação operacional suficiente para desencadear ações de eficiência energética.

Muitas vezes, essa operação manual requer intervenções em locais de difícil acesso (caixas subterrâneas, captações em locais não urbanizados, locais de risco) e em horários não convencionais (fora do horário normal de trabalho, em momentos chuvas fortes e tempestades elétricas).

Por esses motivos, associados à natural possibilidade de falha humana, a operação manual acarreta diversos equívocos que levam a: extravasamento de reservatórios (Pelo não desligamento da estação de bombeamento), excesso de pressão nas redes (não fechamento de válvulas em horas de baixo consumo), imprecisões e intermitências no abastecimento (devido à ausência ou imprecisão de informações), o que prejudica a qualidade e a quantidade no abastecimento de água. Assim, a operação manual acaba sendo ineficiente sob o ponto de vista do controle de perdas de água e energia.

A automação do processo produtivo e de distribuição de água potável traz confiabilidade na aquisição das informações, agilidade nos comandos e controles do processo, flexibilidade operacional através do conhecimento do processo e precisão na operação devido à supervisão e controle à distância, em tempo real.

Existem vários níveis de automação, conforme preconiza a literatura técnica. Quanto maior o porte e mais complexo o sistema, maior a necessidade de se subir nesta escalada hierárquica de supervisão e controle.

Especificamente para sistemas de abastecimento de água, um sistema de automação completo pode controlar estações de bombeamento e válvulas de controle em função das variáveis de pressão, vazão e nível, monitorar status de funcionamento de equipamentos (ligado/desligado, temperatura, vibração, grandezas elétricas), gerar alarmes de qualquer variável medida ou dispositivo controlado (alto, baixo, tempo de operação, intrusão, manutenção), controlar e monitorar processos de tratamento físico-químicos, lavagens de filtros, descargas de decantadores, monitoramentos de qualidade da água, incorporar em seu sistema de

comunicação de dados voz e imagem, armazenar e disponibilizar banco de dados correlacional e históricos das variáveis monitoradas para relatórios, gráficos ou outros sistemas de informação, como softwares de modelagens hidráulicas, sistemas de informações geográficas, etc.

Aeração mais eficiente em estações de tratamento de esgoto

Existem diversas opções para reduzir os gastos energéticos no processo de aeração de esgoto, mantendo os requisitos do tratamento do efluente.

Pode ser a troca sopradores, troca de motores, alteração na tecnologia utilizada, tal como a troca de difusores de ar/oxigênio, alteração de borbulha grossa para borbulha fina, aeradores superficiais ou profundos, uso de rotores mais propensos à mistura de ar-água e utilização de medidores de oxigênio online variando a frequência do aerador conforme a necessidade em tempo real de oxigênio. A altura da lâmina de água e do tanque de aeração também pode ser reduzido necessitando de menos pressão de áreação.

Redução de consumo de água pelo usuário

A redução no consumo de água pela população e atividades econômicas constitui uma medida de economia de água e também de energia. A crise hídrica do estado de São Paulo ocorrida entre 2013-2015 mostra que após a crise a população está com padrões de consumos inferiores ao período anterior à seca, constituindo uma alteração comportamental para um padrão de consumo mais racional do usuário.

A redução de consumo de água pode ser alcançada usando

- dispositivos economizadores de água
- medição individualizada de consumos de água em condomínios por meio da instalação de hidrômetros individuais para cada residência constitui uma ação de eficiência hídrica e energética. O resultado esperado é a redução do volume água consumido em cerca de 10-30%²⁶.
- sensibilização da população com campanhas informativas
- Ajustes nos regulamentos tarifários aplicando o princípio utilizador – pagador
- Acordos de economia com grandes consumidores (não pagantes) tais como escolas, instalações desportivas, edifícios públicos, regas de zonas recreativas.

A experiência mostra que campanhas informativas pela mídia podem reduzir até 15% do consumo de água.

4. Itens básicos para elaboração de projetos

Este capítulo é baseado na seção 4.4 do Módulo 4 do PROPEE e contempla as demais ações mínimas que devem compor um projeto de **eficiência energética do PEE**.

Em subcapítulos específicos detalham-se mais considerações sobre o cálculo da Relação Custo Benefício e sobre a medição e verificação de desempenho.

²⁶ A Lei Federal nº 13.312 promulgada a 12 de julho de 2016 obriga a medição individualizada (MI) em novos empreendimentos em todo território nacional a partir do ano de 2021. Esta Lei constitui uma medida política que contribui para a redução dos consumos de energia. Porém municípios poderão antecipar a aplicação da Lei e até sempre que viável exigir a hidrometração individualizada em condomínios existentes.

Os dados abaixo devem ser informados para todos os projetos do PEE, salvo menção em contrário em algum ponto do PROPEE:

- a) Identificação - Título do projeto, responsável, telefone, e-mail, conforme arquivo eletrônico a ser carregado no SGPEE.
- b) Objetivos - Descrever os principais objetivos do projeto, ressaltando aqueles vinculados à eficiência energética.
- c) Descrição e Detalhamento - Descrever o projeto e detalhar suas etapas, principalmente no que se refere às ações de eficiência energética ou que promovam economia de energia. Descrever as metodologias e tecnologias aplicadas ao projeto em todas as suas fases de execução.
- d) Estratégia de M&V - Definir as variáveis independentes, como será gerado o modelo do consumo de referência e como será feito o cálculo da economia de energia e redução da demanda²⁷.
- e) Abrangência - Mencionar/descrever as áreas que serão beneficiadas pelo projeto (município, distritos, bairros, etc.), o público-alvo e outras informações que venham facilitar o entendimento do projeto.
Os dados dos clientes atendidos pelo projeto devem ser apresentados (Nome, Endereço, Cidade, Estado, Telefone, e-mail, Contato, Ramo de atividade)
- f) Metas e Benefícios - Informa-se as metas de Economia de Energia e de Redução de Demanda na Ponta, expressas em MWh/ano e kW, respectivamente, com base nos valores verificados no diagnóstico ou pré-diagnóstico realizado. Informar outros benefícios do projeto, que não a economia de energia/redução de demanda na ponta, para a distribuidora, consumidor e Sistema Elétrico.
A definição das metas de Energia Economizada [MWh/ano] e de Redução de Demanda na Ponta [kW] deve ser feita com base na metodologia de cálculo proposto para cada uso final. A valoração das metas deve ser feita pela multiplicação das economias pelos custos evitados de energia [R\$/MWh.ano] e de demanda [R\$/kW].
São consideradas viáveis as ações de eficiência energética que tiverem a relação custo-benefício inferior ao valor apresentado no [Módulo 7 do PROPEE – Cálculo da Viabilidade](#), conforme o cálculo ali apresentado.
- g) Prazos e Custos - Apresenta-se os cronogramas físico e financeiro conforme tabelas abaixo, destacando os desembolsos e as ações a serem implementadas, Custos por Categoria Contábil e Origens dos Recursos.
O Cronograma Financeiro deve ser preenchido para os custos totais do projeto e para aqueles relativos ao PEE.

Tabela 14 - Cronograma Físico.

ATIVIDADES	CRONOGRAMA FÍSICO								
	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	...	Mês n
Atividade 1									
Atividade 2									
Atividade 3									
...									
Atividade n									

²⁷ Ver a Seção 8.1, capítulo 3.2 do Módulo 8 do PROPEE – Medição e Verificação dos Resultados ou ainda o capítulo Medição e Verificação dos Resultados desse guia.

Tabela 15 - Cronograma Financeiro.

CRONOGRAMA FINANCEIRO						
ATIVIDADES		Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	... Mês n
Atividade 1	PEE ²⁸					
	Contrapartida ²⁹					
Atividade 2	PEE					
	Contrapartida					
Atividade n	PEE					
	Contrapartida					
Total mensal	PEE					
	Contrapartida					
Total acumulado	PEE					
	Contrapartida					

Tabela 16 - Custos por Categoria Contábil e Origens dos Recursos.

Tipo de custo		Custos Totais		Origem dos recursos		
		R\$	%	PEE	Terceiros	Consumidor ³⁰
Custos Diretos						
Elaboração do Projeto (Diagnóstico)	Previsto					
Materiais e Equipamentos	Previsto					
Mão de Obra Própria (Concessionária) - MOP	Previsto					
Mão de Obra de Terceiros - MOT	Previsto					
Transporte	Previsto					
Outros custos diretos	Previsto					
Custos indiretos						
Administração Própria	Previsto					
Marketing (Divulgação)	Previsto					
Auditoria Contábil Financeira	Previsto					
Descarte de Materiais	Previsto					
Medição & Verificação - M&V	Previsto					
Treinamento e Capacitação	Previsto					
Outros custos indiretos	Previsto					
Total						

Na Memória de Cálculo deve ser apresentada a composição dos Custos Totais da Tabela Custos Totais e Origem dos Recursos, a partir dos custos unitários de equipamentos/materiais envolvidos e de mão de obra (própria e de terceiros), conforme indicação a seguir:

²⁸ Recurso financeiro pago pela distribuidora de energia.

²⁹ Recurso financeiro pago pelo consumidor (opcional). Não é considerado para o cálculo da Relação Custo benefício

³⁰ Neste caso o consumidor é o prestador de serviço ou autarquia municipal.

- h. Custo dos materiais e equipamentos (apresentar para cada equipamento ou material a ser adquirido)

Nome do material
Tipo
Unidade
Quantidade
Preço por Unidade
Preço total

- i. Custo da mão de obra ou serviços (direta ou indireta, por atividade)

Identificação do profissional por categoria (engenheiro, técnico, eletricista, outros)
Quantidade (por categoria)
Valor da hora de trabalho (incluir encargos)
Número total de horas da atividade considerada
Custo total

- j. Outros custos – como viagens por exemplo.
k. Acompanhamento - Tomando como base o cronograma físico, definir os marcos que devem orientar o acompanhamento da execução do projeto.
l. Itens de Controle - Apresentar os itens a serem verificados ao longo da implementação do projeto, tomando por base os itens específicos apresentados neste capítulo.
m. Treinamento e Capacitação – Informando o conteúdo programático, instrutor, público-alvo, carga horária, cronograma, local e todos os custos relacionados.

4.1. Relação custo - benefício

O principal critério para avaliação da viabilidade econômica de um projeto do PEE é a Relação Custo Benefício (RCB) que ele proporciona. O benefício considerado é a valoração da energia economizada e da redução da demanda na ponta durante a vida útil do projeto. Os custos são os aportes feitos para a sua realização (do Programa de Eficiência Energética (PEE), do consumidor ou de terceiros)” (Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) Aneel, Módulo 7, 2018).

A RCB nada mais é do que a razão, em Reais, entre o custo do projeto e os benefícios por ele alcançados em razão da redução do consumo de energia e/ou retirada, total ou parcial, de demanda da ponta. Os custos acontecem no ano de implementação do projeto, ao passo que os benefícios são observados anualmente durante toda a vida útil das ações do projeto. Por essa razão, os custos devem ser anualizados a uma taxa de atratividade definida pela distribuidora de energia em um número de períodos iguais à vida útil do projeto. O mesmo efeito pode ser obtido se trouxermos ao valor presente os benefícios observados durante a vida útil considerando a mesma taxa atratividade. Nos projetos do PEE-Aneel a primeira opção é a utilizada.

O Módulo 7 do PROPEE permite ainda que outros benefícios, mensuráveis ou não, possam ser considerados no cálculo da RCB do projeto.

Quando um projeto de eficiência energética recebe aportes financeiros tanto do PEE quanto do cliente proponente de um projeto perante a sua distribuidora de energia elétrica, dois cálculos devem ser feitos:

- a) Do ponto de vista do PEE, quando consideramos somente os custos aportados pelo PEE;
- b) Do ponto de vista do projeto, quando consideramos os custos totais do projeto, compostos pelos recursos do PEE somados aos recursos aportados pelo cliente a título de contrapartida.

Adicionalmente duas outras avaliações ainda são feitas:

- a) Sob a ótica do sistema elétrico (sociedade), quando consideramos os valores de Custo Evitado de Energia (CEE) e Custo Evitado de Demanda (CED) informados pela distribuidora nos editais de chamada pública de projetos.
- b) Sob a ótica do cliente, quando consideramos os custos de energia e demanda efetivamente pagos pelo cliente.

Em projetos de eficiência energética desenvolvidos no âmbito do PEE Aneel, a RCB é calculada do ponto de vista do PEE, ou seja, sob a ótica da sociedade, exceto para projetos com fontes incentivadas onde o cálculo é feito sob a ótica do cliente, mantendo-se na componente de custos os valores aportados pelo ponto de vista do PEE.

Para projetos com múltiplas ações (dois ou mais usos finais) as RCB's são calculadas separadamente - por uso final. Também é calculada a RCB global, considerando as somas dos custos e dos benefícios de todas as ações de eficiência energética.

A RCB máxima permitida pelo PROPEE é de 0,80 (para o RCB global), entretanto a distribuidora pode estabelecer um valor menor em seu edital como uma medida conservadora, haja vista as incertezas que cercam um projeto de eficiência energética cujas economias são inicialmente estimadas, ainda que por cálculos de engenharia e medições.

Ressaltamos ainda que a RCB é o principal critério de avaliação de um projeto participante de chamada pública, ou seja, projetos com as menores RCB's são os mais bem pontuados nesse quesito.

Cálculo da relação custo-benefício

Como os benefícios do projeto são percebidos durante a vida útil de cada equipamento ou ação de eficiência energética, é necessário conhecer as vidas úteis dos projetos de eficiência em sistemas de saneamento e, com isso, calcular a parcela benefício da RCB

Assim, a RCB é a razão entre o custo anualizado de todas as ações de eficiência energética e os benefícios obtidos pela redução do consumo de energia elétrica e/ou pela retirada, total ou parcial, de demanda da ponta.

$$RCB = \frac{CA_T}{BA_T}$$

Onde:

CA_T é o custo total em R\$/ano; e

BA_T é o benefício anualizado R\$/ano.

Custo anualizado

O custo anualizado total é a somatória dos custos individuais de equipamentos e demais custos associados e necessários à implementação de cada ação. Custos do projeto como um todo (divulgação e marketing, por exemplo) são divididos na mesma proporção observada entre o equipamento em questão e o custo total do projeto.

$$CA_T = \sum_n CA_n$$

Onde:

CA_T é o custo anualizado total em R\$/ano; e
 CA_n é o custo anualizado de cada equipamento incluindo custos relacionados (mão de obra, etc.) em R\$/ano.

Custo total em equipamentos

$$CE_T = \sum_n CE_n$$

Onde:

CE_T é o custo total em equipamentos em R\$; e
 CE_n é o custo de cada equipamento em R\$.

Custo anualizado de cada equipamento

É o custo de cada equipamento, composto pelo seu custo de aquisição mais o rateio dos demais custos do projeto, tais como mão de obra, marketing, descarte de materiais, etc.

$$CA_n = CE_n \times \frac{CT}{CE_T} \times FRC_u$$

Onde:

CT é o custo total do projeto em R\$;
 FRC_u é o fator de recuperação do capital para u anos em 1/ano; e
 u é a vida útil dos equipamentos em ano.

Fator de recuperação de capital

Índice que permite levar o custo com equipamentos, inclusive custos associados, a valores futuros e anuais. A taxa de atratividade³¹ é definida pela distribuidora de energia e o período é a vida útil do equipamento.

$$FRC_u = \frac{i \cdot (1+i)^u}{(1+i)^u - 1}$$

Onde:

i é a taxa de desconto considerada em 1/ano.

Benefício anualizado

São as economias de energia (MWh/ano) e de demanda (kW) convertidas em Reais a partir dos custos unitários de energia e de demanda evitada fornecidos pela distribuidora de energia no edital de chamada pública de projetos.

$$BA_T = (EE \times CEE) + (RDP \times CED)$$

Onde:

BA_T é o benefício anualizado em R\$/ano;

³¹ Valor informado pela distribuidora no edital de chamada pública. Normalmente se usa uma taxa de 8% a.a.

EE é a energia anual economizada em MWh/ano;
CEE é o custo unitário da energia em R\$/MWh;
RDP é a demanda evitada na ponta kW ano; e
CED é o custo unitário evitado da demanda em R\$/kW ano;

Vida útil de uma ação de eficiência energética

A vida útil de uma ação de eficiência energética é uma variável determinante para a apuração dos ganhos financeiros decorrentes das economias proporcionadas pelo projeto. Observando as fórmulas apresentadas no capítulo anterior, a vida útil é a variável u utilizada no cálculo do FRC – Fator de Recuperação de Capital. Conseqüentemente, da vida útil dependem também os custos anualizados dos equipamentos e o custo anualizado total.

O PROPEE, Módulo 7 – Cálculo da Viabilidade – estabelece que a vida útil deve ser definida com base nos dados fornecidos pelo fabricante do equipamento ou estudo que apure de forma confiável este tempo de vida, a ser realizado por iniciativa da ANEEL. Caso sejam utilizados os dados do fabricante, a ANEEL poderá solicitar à empresa catálogo técnico que os comprove.

Ainda assim, o Módulo 4 – Tipologia de Projeto – sugere os tempos de vida útil dos equipamentos mais comumente utilizados em projetos de eficiência energética em sistemas de iluminação e aquecimento solar. A tabela abaixo mostra os valores sugeridos pelo PROPEE:

Tabela 17 – Vida útil de materiais e equipamentos, Aneel (2013)

Material/equipamento	Vida útil (anos)
Relés Fotoelétricos	3
Economizadores	5
Lâmpadas VSAP de 70 W	3
Lâmpadas VSAP a partir de 100 W	5
Lâmpadas a LED	20
Reatores e Ignitores	10
Luminárias abertas	15
Luminárias fechadas	20
Braços e Acessórios	20
Aquecimento solar	20

Da mesma forma, os editais de chamada pública elaborados pelas distribuidoras de energia elétrica também indicam os valores de vida útil admitidos. A tabela abaixo, por exemplo, foi extraída do Edital de Chamada Pública de Projetos de Eficiência Energética CPP002/2017 da Energisa Sul Sudeste (Presidente Prudente, 2017).

Tabela 18 – Vida útil de materiais e equipamentos Energisa (2017)

Material/equipamento	Vida útil
Lâmpadas fluorescentes tubulares	20 anos
Lâmpadas fluorescentes compactas	20.000 horas
Lâmpadas bulbo LED	25.000 horas
Lâmpadas tubo LED	25.000 horas
Luminárias (exceto luminárias IP)	15 anos
Aparelhos de ar condicionado tipo janela	10 anos
Aparelhos de ar condicionado tipo <i>split</i>	10 anos
Sistemas de climatização	10 anos
Motores	10 anos
Aparelhos de refrigeração	10 anos

Sistemas de aquecimento solar	20 anos
Sistemas de ar comprimido ou compressores em geral	10 anos
Bombas de calor	20 anos

Nota-se nas tabelas acima que para as ações diretamente relacionadas aos serviços de saneamento não encontramos as informações sobre a vida útil de materiais e equipamentos, exceto para os motores, cuja vida útil indicada é de 10 anos.

Entretanto, na bibliografia especializada encontram-se referências sobre esse assunto que devem ser utilizados na elaboração de pré-diagnósticos energéticos em sistemas de saneamento, devidamente justificadas.

O Quadro abaixo foi extraído do livro AVALIAÇÃO ECONÔMICA - Eficiência Energética apresenta o alcance das obras e equipamentos típicos dos sistemas de abastecimento de água.

Tabela 19 – Alcance das obras e equipamentos (Gomes et al, 2014)

Obras e/ou Equipamentos	Alcance do Projeto (anos)
Tomadas d'água	25 – 50
Barragens grandes e túneis	30 – 60
Poços	10 – 25
Estações elevatórias	10 – 20
Equipamentos de recalque	10 – 20
Adutoras de grande diâmetro	20 – 30
Floculadores, decantadores e filtros	20 – 30
Dosadores	10 – 20
Reservatórios de distribuição de concreto	30 – 40
Reservatórios de distribuição de aço	20 – 30
Canalizações de distribuição	20 – 30
Edificações	30 – 50

Quando se trata de um projeto específico de redução de perdas de energia e água em um sistema já existente, o seu alcance está atrelado à vida útil dos equipamentos ou materiais empregados. Na tabela abaixo estão os alcances, em anos, recomendados pela Chamada Pública, da Eletrobrás (2003), para o financiamento de projetos de redução de perdas de energia e água em saneamento (Gomes et al, 2014).

Tabela 20 – Vida útil de materiais e equipamentos (PROCEL SANEAR, 2003)

Materiais e Equipamentos	Anos
Motores Elétricos	10
Acionamentos e Inversores	5
Bombas	10
Válvulas	10
Tubulações	30
Reservatórios	30
Hidrômetros	5
Limpeza ou revestimento de tubulações	3
Automação	10

4.2. Medição e Verificação de desempenho

Fundamentos da M&V

As campanhas de medição e análise dos resultados em projetos de eficiência energética desempenham um papel fundamental na avaliação das reais reduções de consumo e demanda alcançadas por um projeto e são o foco da avaliação dos projetos pela ANEEL.

Esse processo de avaliação dos resultados energéticos de ações de eficiência energética passa necessariamente por medições de campo, mas não se restringem a elas, já que não se pode medir diretamente a energia e a demanda que não foram consumidas. Faz-se necessário, portanto, um processo de análise que possa estimar o consumo da instalação antiga nas condições após a intervenção (a eficiência energética é sempre a energia medida após a implementação das ações subtraída da energia que teria sido consumida na ausência da medida – como a instalação antiga não existe mais, não é possível medir diretamente esta energia). Para tal, é necessário que se façam medições antes da ação de eficiência energética e se estabeleça um modelo matemático sobre o comportamento de variáveis que determinam ou influenciam o consumo de energia e a relação entre ambos: consumo de energia e variáveis. Estas variáveis são denominadas variáveis independentes – em geral, produção de água, água consumida, água elevada, população abastecida, produção, clima, taxa de ocupação do Município, etc.

As atividades de medição e verificação dos resultados de um projeto de eficiência energética desenvolvido no âmbito do PEE-ANEEL devem seguir as diretrizes do Módulo 8 – Medição e Verificação de Resultados – do PROPEE que, por sua vez, recomenda a aplicação do Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP – EVO, 2012) que descreve as melhores práticas atualmente disponíveis para medir e verificar os resultados de projetos de eficiência energética.

Nesse sentido, este capítulo tem por objetivo extrair do Módulo 8 do PROPEE os itens essenciais para o desenvolvimento de um plano de medição e verificação para projetos de eficiência energética em sistemas de saneamento, conforme as tipologias apresentadas anteriormente.

O PIMVP não determina que medições devem ser feitas, que variáveis considerar, que modelo determinar, dada a diversidade de situações que se apresentam na prática. Determina apenas requisitos básicos a observar, os cuidados que se devem ter, critérios para selecionar as variáveis e opções disponíveis para avaliar a eficiência energética.

Faz-se necessário, portanto, que cada projeto tenha um Plano de M&V, que consiste na escolha das opções e descrição de como será feita a aplicação das técnicas preconizadas pelo PIMVP ao caso em questão.

O PIMVP admite dois modos de se medir a economia de energia:

- 1) **Energia evitada**, quando se consideram as condições de operação do sistema durante o período de determinação da economia (pós-retrofit). A partir de medições realizadas logo após concluídas as ações de eficiência energética, estima-se qual seria o consumo registrado se as ações de eficiência energética não fossem executadas; e
- 2) **Economia normalizada**, quando as condições de operação do sistema são, por exemplo, do período da linha de base (antes das ações de eficiência) ou de qualquer outro período arbitrário onde as condições de operação do sistema mais se aproximam das condições típicas, médias ou normais, daí o termo normalizada (EVO, 2012). O PROPEE recomenda que os projetos do PEE sigam a segunda opção (economia normalizada), onde alguns padrões (produção de água, por exemplo) podem ser definidos através de estudos (ANEEL, 2018).

A figura abaixo ilustra os períodos em que são realizadas as medições. A linha pontilhada mostra o consumo da instalação antes e após a implementação das ações de eficiência energética. O período anterior às ações é denominado **período da linha de base**, já o período subsequente é intitulado de **período de determinação da economia**. A linha tracejada é uma estimativa de qual seria o consumo nesse momento temporal, se as ações de eficiência energética não fossem implementadas. Ou seja, sem as ações, a linha pontilhada percorreria o traçado da linha tracejada. A economia é, portanto, a diferença entre as curvas do período de determinação da economia.

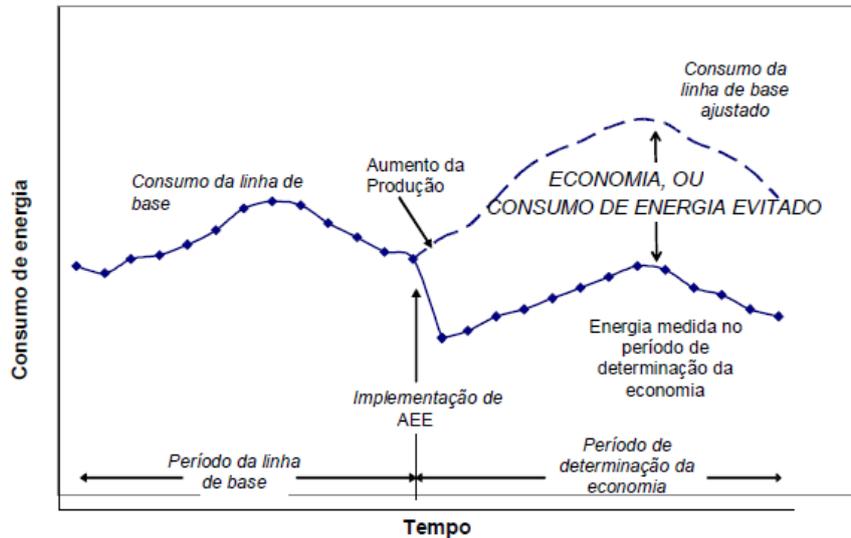


Figura 1: Exemplo de histórico de energia (EVO, 2012)

Como a eficiência não é medida diretamente, há sempre alguma incerteza no resultado obtido. Medições mais prolongadas, de maior número de variáveis, com maior precisão, podem diminuir a incerteza, porém aumentam os custos. Encontrar o equilíbrio entre precisão e custo da medição e verificação é fundamental para uma boa prática. Dessa forma, o Módulo 8 visa estabelecer requisitos mínimos a observar e orientar as atividades de M&V nas avaliações dos projetos do PEE, observado o PIMVP.

Fases da M&V

O projeto de eficiência energética é dividido em 3 etapas: Definição, Execução e Verificação. A etapa de **definição** engloba todas as ações que antecedem a execução propriamente dita do projeto. É uma etapa de planejamento, quando as ações de eficiência são definidas, escolhidas, as economias são estimadas e o projeto formalmente aprovado. Na etapa de **execução** são feitas as especificações/aquisições dos materiais, equipamentos e serviços. O projeto é efetivamente executado, ao mesmo tempo em que as medições de energia, demanda e variáveis independentes são realizadas, antes e após a execução das ações de eficiência energética. Por fim, na etapa de **verificação** as medições são analisadas, correlações e ajustes são feitos e os resultados de economia de energia e demanda são efetivamente apurados e publicados. A Figura abaixo foi extraída do Módulo 8 do PROPEE e ilustra o processo descrevendo brevemente e de forma cronológica, as fases de M&V durante um projeto do PEE.

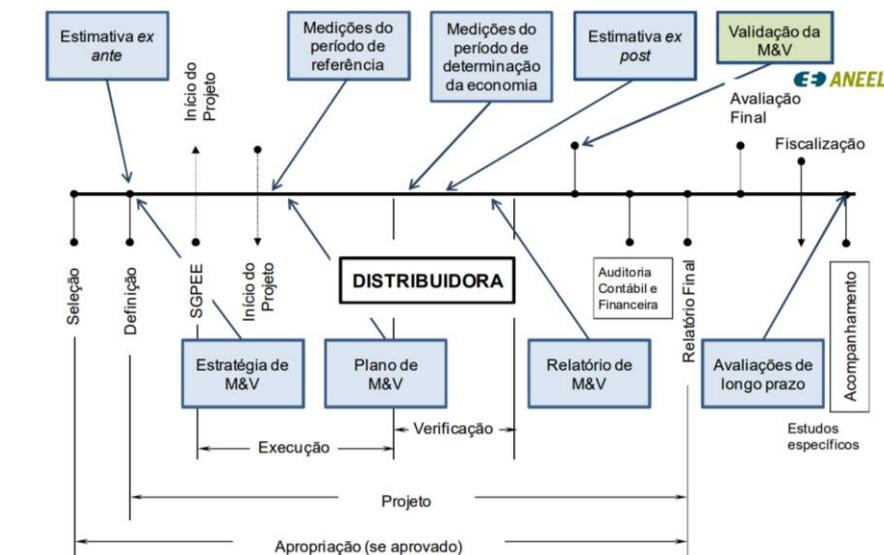


Figura 2: Atividades de M&V e fases de projeto (ANEEL, 2013)

Estimativa Ex-Ante

Definidas as ações de eficiência energética integrantes do projeto, deve-se estimar as economias de energia e demanda de energia elétrica pretendidas. Essas estimativas são baseadas em análises de campo, conhecimento dos técnicos, dados típicos, experiências anteriores e cálculos de engenharia. Podem ser feitas por uso final, com a orientação apresentada nas Tipologias de Projeto.

Estratégia de M&V e opções PIMVP

A estratégia de M&V contém os aspectos essenciais para a elaboração do Plano de M&V. É a base do Plano. A estratégia é elaborada na etapa de definição do projeto e durante a elaboração do pré-diagnóstico (avaliação ex-ante). Considera-se o uso da energia e sua relação com a rotina da instalação, observada no último ano ou na média dos últimos anos de funcionamento. Os seguintes aspectos são definidos na elaboração da estratégia de M&V:

- **Variáveis independentes:** verifica-se quais variáveis (produção de água, água consumida, água elevada, etc) explicam a variação do consumo de energia elétrica e como poderão ser medidas (locais, equipamentos e períodos de medição).
- **Fronteira de medição:** determina-se o limite, dentro da instalação, onde serão instalados os medidores para o registro dos efeitos da ação de eficiência energética (kWh e kW) e eventuais efeitos interativos com a instalação.
- **Opção do PIMVP:** escolher a opção do PIMVP que será usada para medir a economia de energia. As opções são A, B, C ou D.

Opção A – Medição isolada da AEE (parâmetros-chave): A opção A pressupõe a estimativa e não medição de um ou mais parâmetros de energia (e suas componentes, potência e tempo) e variáveis independentes. Para as variáveis estimadas, é necessário apresentar a faixa de valores em que pode variar, a base considerada para a estimação e o impacto da variação na incerteza da eficiência energética obtida.

A opção A tem uma abordagem simples e de baixo custo. Os parâmetros de desempenho são medidos (antes e depois) e os parâmetros de uso podem ser estimados. É adequada quando não existe variação da potência durante o uso do equipamento.

Tipicamente usado em ações de eficiência em iluminação, requer a definição de amostragem de medição para estender a projeção de economia para todo o projeto. Os projetos com Opção A de determinação da economia deverão ter justificados os tópicos mencionados acima.

Opção B - Medição isolada da AEE (todos os parâmetros): Na Opção B medem-se todos os parâmetros envolvidos, tanto a energia (incluindo, conforme o caso, potência, demanda e tempo) como variáveis independentes. Deve ser usada para uma obtenção mais rigorosa das economias, livre de estimativas.

Requer a definição de um período de medição que avalie todas as variações que podem ocorrer. Normalmente utilizada quando a carga elétrica apresenta variações de potência durante o seu funcionamento, o que ocorre normalmente quando existem variáveis independentes que devem, por sua vez, serem monitoradas e medidas durante o período de medição.

A opção B é normalmente utilizada em projetos que envolvem equipamentos de condicionamento ambiental, variadores de velocidade e sistemas de controle e automação.

Opção C – Medição de toda a instalação: A Opção C costuma ser a mais barata, pois em geral usa o medidor da distribuidora. Neste caso, em geral é necessário um intervalo de tempo maior para o período de determinação da economia inicial, a menos que se usem leituras parciais (através da memória de massa do medidor de entrada, por exemplo).

Avalia o desempenho energético de toda a instalação. Ao não permitir a avaliação individualizada de ações em determinados equipamentos essa opção depende de uma economia significativa para que possa ser quantificada de forma segura.

O custo da M&V não é elevado, pois pode aproveitar o sistema de medição da distribuidora de energia elétrica. Requer histórico do uso de eletricidade relevante (meses) para determinar a base de referência. Como consequência, o período de avaliação após implantação das medidas também deverá ser igualmente longo.

Essa opção é aplicável em projetos de modulação do horário de ponta.

Opção D - Simulação: Se o projeto englobar mais de um uso final, a Opção D, através de um modelo simples, deve ser usada para avaliar as diferentes contribuições de cada uso final. A Opção D deve ser usada para avaliar a implantação de ações de eficiência energética em novas instalações. Neste caso, um modelo do uso padrão de energia (que teria sido implantado na ausência da ação de eficiência) deve ser elaborado para avaliar a eficiência energética adicionada. A justificativa para utilização deste modelo deve ser apresentada.

A opção D é tipicamente aplicada em edificações comerciais e em construções novas, nesse caso, o desempenho energético após a construção é medido, ao passo que o desempenho anterior é simulado considerando as tecnologias menos eficientes.

- **Modelo do consumo da linha de base:** definir as possíveis análises de regressão entre a energia e as variáveis independentes que serão utilizadas para a determinação da economia que será percebida durante a vida útil da ação de eficiência energética.

Cálculo das Economias

Definir como serão calculadas a economia de energia (MWh/ano) e a redução de demanda na ponta (kW). Normalmente, a energia economizada nada mais é do que a diferença entre a energia consumida pelos equipamentos antes da ação de eficiência e a energia consumida pelos equipamentos após a adoção das medidas. Da mesma forma, a demanda reduzida é a diferença entre as demandas antes e após a implementação das ações.

Medições do Período de Referência (Linha de Base)

Realizar as medições de consumo, demanda e variáveis independentes conforme a estratégia de M&V definida anteriormente, deve ser a primeira atividade da fase de Execução do projeto, antes da implementação das medidas propriamente ditas.

Amostragem - Técnicas de amostragem poderão ser utilizadas para projetos com trocas de muitos equipamentos. Cuidados deverão ser tomados com a incerteza introduzida, pois *“a amostragem cria erros, porque nem todas as unidades em estudo são medidas”* (EVO, 2012, p. 100). Recomenda-se seguir os passos preconizados pelo PIMVP no Anexo B-3 – Amostragem para se determinar o tamanho da amostra:

- Selecionar uma população homogênea – dividir a população em subconjuntos homogêneos, por exemplo, agrupando as lâmpadas ou motores de mesma potência ou os ares-condicionados de mesma capacidade.
- Determinar os níveis desejados de precisão e de confiança – sugere-se adotar 10% com 95% de confiança (valores habitualmente adotados nos editais das distribuidoras elétricas).
- Decidir o nível de desagregação – se não houver muitos subconjuntos, adotar o critério acima para cada um; senão, reduzir a precisão almejada (deve-se perseguir 10% como meta geral para a amostragem).
- Calcular o tamanho da amostra inicial – deverão ser usados coeficientes de variação típicos. Se este dado não estiver disponível, adotar um cv de 0,5. O tamanho da amostra inicial será:

$$n_0 = \frac{z^2 * cv^2}{e^2}$$

n_0	tamanho inicial da amostra
z	valor padrão da distribuição normal (confiabilidade de 95%) = 1,96
cv	coeficiente de variação das medidas
e	precisão desejada (= 0,1)

- Ajustar a estimativa inicial do tamanho da amostra para pequenas populações – calcular a fórmula abaixo e adotá-la, se menor que a anterior ($n < n_0$):

$$n = \frac{n_0 * N}{n_0 + N}$$

n_0 tamanho inicial da amostra

n	tamanho reduzido da amostra
N	tamanho da população

- Finalizar o tamanho da amostra – efetuar as medições e verificar se a precisão desejada foi alcançada. Este processo pode ser iterativo e até reduzir o tamanho da amostra, desde que mantidas a precisão e confiança (tudo depende da variação das medidas).

Plano de M&V

A partir da estratégia de M&V e dos resultados das medições do período da linha de base, redigir o Plano de M&V contendo todos os procedimentos e considerações para o cálculo das economias, conforme o Capítulo 5 do PIMVP. Podendo-se usar o modelo proposto pela ANEEL e adaptado na forma do Anexo I desse Módulo de Saneamento. Os modelos da ANEEL podem ser consultados em [www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica/Medição e Verificação/\(M&V\)/Planos](http://www.aneel.gov.br/programa-eficiencia-energetica/Medição_e_Verificação/(M&V)/Planos).

Medições do período de determinação da economia

Uma vez implantadas as ações de eficiência energética e realizado a sua verificação operacional, devem ser feitas as medições iniciais do período de determinação da economia. No caso de contratos de desempenho energético, podem prevalecer os termos do contrato quanto à periodicidade de medição.

O PIMVP recomenda que a “*duração do período de determinação da economia deve ser definida com a devida consideração pela duração da ação de eficiência energética e pela probabilidade de degradação da economia originalmente obtida ao longo do tempo*” (EVO, 2012, p. 13).

Estimativa Ex-Post

Feitas as medições, calculam-se as economias conforme definido no Plano de M&V.

Considerações sobre a incerteza deverão ser feitas nesta fase. Não é necessário apresentar um cálculo completo, porém relacionar os principais fatores de incerteza nos resultados obtidos, tanto de natureza quantitativa quanto qualitativa, em especial os devidos a modelagem, amostragem e medição. Assim, apresentar:

- Modelagem: apresentar o valor de R^2 (coeficiente de determinação) obtido na análise de regressão e o erro padrão da estimativa (EPY).
- Amostragem: apresentar o tamanho da amostra medida, o cv (coeficiente de variação – desvio padrão dividido pela média) obtido e calcular a precisão (e) para uma confiabilidade de 95% ($z = 1,96$):

$$e = \frac{z \times cv}{\sqrt{n_0}}$$

Onde:

e = Precisão obtida;

n_0 = Tamanho da amostra;

z = Valor padrão da distribuição normal (confiabilidade de 95%) = 1,96

cv = Coeficiente de variação das medidas;

- Medição: apresentar a precisão dos equipamentos usados nas medições.

Relatório de M&V

Emitir o Relatório de M&V, com os resultados das medições e do cálculo das economias. O relatório de M&V deve conter:

- Dados observados durante o período de determinação da economia
 - i. Datas do período de medição
 - ii. Dados de energia e demanda
 - iii. Valor das variáveis independentes
 - iv. Valor do coeficiente de determinação (R²), quando houver modelo do período de referência
 - v. Para amostragens: tamanho da amostra, precisão (e) e coeficiente de variação (cv) obtidos
 - vi. Precisão dos instrumentos utilizados
- Descrição e justificativa de quaisquer correções feitas aos dados observados
- Valores estimados acordados
- Valores da energia e demanda utilizados
- Desvio eventual das condições apresentadas no Plano de M&V, apresentando os cálculos de engenharia que fizeram o ajuste às novas condições
- Economia calculada em unidades de energia (MWh/ano) e demanda (kW)
- Desvio observado em relação à avaliação ex ante.

Validação da M&V

A validação dos critérios adotados pela distribuidora para M&V dos projetos ficará a cargo da ANEEL, que poderá designar um agente credenciado para realizá-la. Será avaliada a adequação de procedimentos às determinações do Módulo 8 do PROPEE e PIMVP.

Avaliações de longo prazo

Como nos contratos de desempenho, onde avaliações de longo prazo podem ser feitas durante suas vigências, a ANEEL poderá, para o PEE, definir estudos específicos para esse tipo de avaliação.

Avaliações de longo prazo tem o objetivo de medir o desempenho das instalações eficientizadas no decorrer do tempo, haja vista possíveis alterações de resultados provocadas, por exemplo, pela depreciação de equipamentos e mudanças das condições operacionais. Os resultados das avaliações de longo prazo realimentam novos projetos, que podem usar os resultados na determinação das novas linhas de bases.

Incerteza aceitável

Sendo o PEE um instrumento de política pública de eficiência energética, cumprindo uma função no planejamento energético, deve garantir sua meta com uma determinada confiabilidade, compatível com o sistema elétrico em que se insere.

Assim, o 'Módulo 8 do PROPEE – Medição e Verificação dos Resultados' define que ao atingir uma precisão de 10% com 95% de confiabilidade nos projetos de eficiência energética garante-se investimentos vantajosos para a sociedade, já que a RCB máxima está fixada em geral em 0,8.

Ajustes da linha de base

A Seção 8.2 do PIMVP descreve a necessidade de **ajustes da linha de base** ou **ajustes não de rotina** ou ainda **ajustes não periódicos** “quando ocorrem mudanças inesperadas ou únicas no tempo (fatores estáticos) dentro da fronteira de medição” (EVO, 2012).

O ajuste da linha de base deve ser feito por cálculos de engenharia e/ou medições para modificá-la de modo a incluir as novas condições da instalação ou de seu funcionamento (por exemplo, mais luminárias foram instaladas ou a carga térmica de um sistema de condicionamento ambiental aumentou).

Nas ações apoiadas pelo PEE, muitas vezes encontram-se índices abaixo dos valores normalizados ou demandados (por exemplo, volume de água está abaixo do requerido pela população ou a pressão está baixo daquela recomendada por norma). Nestes casos, considera-se pertinente um ajuste da linha de base inicial para trazer as condições do local às situações adequadas às demandas ou aos requisitos normativos.

O ajuste deve ser feito supondo-se a utilização da nova tecnologia empregada na ação de eficiência energética (por exemplo, um sistema bombeia 0,20 m³/s onde a necessidade atual é de 0,25 m³/s – a linha de base deve considerar a energia medida para bombear 0,20 m³/s com a tecnologia existente somada à energia necessária para fornecer mais 0,05 m³/s com a nova tecnologia).

4.3. Especificidades de M&V em projetos de saneamento

O presente capítulo não segue o agrupamento de projetos conforme no capítulo de Projetos típicos de eficiência energética em saneamento (página 18). Neste capítulo os projetos estão agrupados conforme opções PIMVP semelhantes que se lhe aplicam, sendo que por vezes uma medida pode ter diversas opções de PIMVP dependendo do seu contexto e fronteiras de medição.

Em seguida se listam os projetos de eficiência energética e /ou hídrica. Em geral qualquer projeto de eficiência hídrica conduz a uma redução do consumo de energia.

O objetivo deste trabalho é definir estratégias de Medição e Verificação para várias tipologias de projetos de eficiência energética no abastecimento de água e esgotamento sanitário de acordo com o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de *Performance* da EVO – *Efficiency Valuation Organization*.

É objetivo deste subcapítulo facilitar a aplicação do PIMVP em projetos de eficiência energética e hídrica.

Após a tabela são realizadas considerações sobre as estratégias que incluem:

- Considerações gerais sobre a medida;
- Justificação da Opção PIMVP;
- Identificação das variáveis dependentes e independentes,
- Fronteira de medição,
- Modelo da linha base,
- Fatores estáticos típicos e efeitos interativos,
- Períodos e intervalo de medição, tanto para a elaboração como para a determinação da economia.

Tabela 21 - Resumo de Ações de Eficiência e Opção PIMVP

Ação de eficiência	Variável dependente	Opção PIMVP
i) Troca de conjunto motobomba com melhor rendimento em uma estação elevatória e / ou instalação de inversor de frequência	Energia	C – Toda a instalação
ii) Troca de conjunto motobomba e/ou instalação de inversor de frequência integrados em ETE ou ETA	Energia	B – Isolação da AEE: Medição de todos os parâmetros
iii) Aeração mais eficiente em estações de tratamento de esgoto	Energia	B – Isolação da AEE: Medição de todos os parâmetros
iv) Evitar o uso de energia em horas de ponta em diversas operações unitárias (redução esperada >10%)	Demanda	C – Toda a instalação
v) Evitar o uso de energia em horas de ponta em diversas operações unitárias (redução esperada <10%)	Demanda	B – Isolação da AEE: Medição de todos os parâmetros
vi) Redução de vazamentos por redução de pressão na rede de distribuição	Água e/ou energia	C – Toda a instalação
vii) Redução de vazamentos por reabilitação de ramais de ligação e extensão de rede	Água e/ou energia	D – Simulação calibrada
viii) Redução de vazamentos por redução do tempo de reparação de rede, ramais e cavaletes	Água e/ou energia	A – Isolação da AEE: medição dos parâmetros chave
ix) Alterações no layout do sistema de distribuição	Energia	D – Simulação calibrada
x) Redução de perda de carga em barriletes, adutoras e outros pontos do sistema	Energia	Preferencialmente B, podendo também ser A, C ou D
xi) Medição individualizada de consumos de água em condomínios	Água e/ou energia	C – Toda a instalação
xii) Campanha de sensibilização para redução de consumo de água	Água e/ou energia	B – Isolação da AEE: Medição de todos os parâmetros ou C – Toda a instalação

As opções de Medição e Verificação aqui apresentadas para vários projetos de eficiência no setor de abastecimento de água e esgotamento sanitário podem ter variações ou outras abordagens. As opções do PIMVP, assim como os seus elementos de estratégia têm flexibilidade.

Para a seleção da estratégia de M&V deve ser privilegiada a operacionalidade prática e a simplicidade em detrimento de modelos científicos holísticos de maior complexidade. O uso de menos variáveis independentes e respectivas medições se verifica menos oneroso para o processo de M&V devendo ser essa a preferência.

A complexidade do modelo aumenta se alguns fatores estáticos forem considerados variáveis independentes, porém, este tipo de decisão deve ser tomada na prática perante cada instalação e cada ação de eficiência. Em algumas instalações uma variável é um fator estático e outras onde essa mesma informação pode ser uma variável independente. Sempre que possível deve se atentar a minimizar o esforço de monitoramento em detrimento de modelos de monitoramento

mais detalhados. O nível de confiança da economia deve ser o mínimo necessário e deve ser balanceado com os custos de M&V.

Os projetos aqui listados podem ser combinados entre si e também com outras ações acessórias como iluminação, ar condicionado, geração de energia. Ao acumular diversas ações de eficiência na mesma instalação a melhor opção de PIMVP pode alterar-se, principalmente entre as opções B e C, porém elementos de cada uma das estratégias (variáveis independentes, fronteira de medição, modelo da linha base, fatores estáticos e interativos) podem ser utilizados.

i) Troca de conjunto motobomba com melhor rendimento em uma estação elevatória e / ou instalação de inversor de frequência

Considerações gerais sobre a ação de eficiência

Podem ser medidos com a mesma opção do PIMVP a *performance* em uma instalação elevatória por meio da troca de bombas (hélices, rotores), motores, ou o conjunto completo motobomba por outros com melhor rendimento, assim como a colocação de inversor de frequência.

O fator relevante é que o consumo de energia principal desse tipo de instalação está associado à elevação de água e outros consumos de energia existentes são pouco significativos, por exemplo, iluminação, ventilação, dosadores de cloro, vídeo câmera, transmissão de dados de telemetria, etc.

A redução de consumo pela ação de eficiência energética deve ser superior a 10%³² para que esse efeito possa inequivocamente ser atribuída à ação eficiência com o seguinte processo de medição e verificação.

Opção PIMVP

A opção de PIMVP para esta ação é a C – Toda a instalação elevatória de água. A Opção B não se recomenda pois exige a instalação de um medidor específico para isolar o consumo de energia exclusivamente do bombeamento.

Variável dependente e variáveis independentes típicas

A variável dependente, que se pretende explicar é energia consumida (kWh) e a variável independente, água elevada (m³). A energia consumida é uma função de água bombeada.

$$E \text{ (kWh)} = f \text{ (m}^3\text{)}$$

As unidades recomendadas podem ser (kWh/mês) e (m³/mês) para coincidir com a periodicidade mensal de faturamento de eletricidade. É necessário fazer coincidir o período de medição do volume de água com o de energia.

Fronteira de medição

A fronteira de medição considera duas grandezas:

- a eletricidade registrada no medidor da concessionária de energia e
- o medidor de vazão com totalizador de volume de água bombeado.

³² Pág. 45 do EVO *Efficiency Valuation Organization* - Protocolo Internacional de Medição e Verificação de *Performance*, Conceitos Básicos e Opções para a Determinação de Economias de Energia e de Água Volume 1, janeiro 2012

O medidor de vazão pode estar dentro da estação elevatória, na captação de água ou na estação de tratamento, ou poderá estar à entrada ou saída de um reservatório a montante ou jusante da estação. O volume de água medido corresponde ao volume de água bombeado.

Modelo da Linha base

$$\text{Energia (kWh)} = \text{consumo específico de energia (kWh/m}^3\text{)} \times V_{\text{bombeado}} \text{ (m}^3\text{)} + b$$

Fatores estáticos típicos e efeitos interativos

O nível de pressão deve ser um fator estático, ou seja, antes e depois da ação de eficiência energética a pressão de abastecimento deve-se manter inclusive as suas oscilações diárias. O nível de água (nível de sucção) e as perdas de carga na adutora, associada à rugosidade da tubulação e seu nível de incrustação são fatores estáticos. Caso se verifiquem desvios significativos é necessária medição específica e incluir no modelo da linha de base na forma de variável independente. Para esse cenário não foram identificados efeitos interativos.

Período e intervalo de medição para elaboração da linha base

Para determinação da linha de base se recomenda usar um ou mais anos de faturamento, correspondendo a doze ou mais medições. Para esse período se registram os volumes de consumo. A disponibilidade destes dados costuma ser habitual. Na sua ausência, é necessária uma coleta propositada de dados, podendo ser 7 (sete) dias correspondente ao um ciclo de funcionamento normal.

Período e intervalo de medição para a determinação de economia

Para determinar a economia, recomenda-se usar um período correspondente a um período típico de funcionamento da instalação elevatória. O período deve ser representativo não devendo ser medidos em épocas de especial demanda como festivais ou feiras excepcionais na cidade, alta temporada das cidades turísticas, etc. Uma única semana / sete dias pode ser suficiente se usado equipamento de medição específico. Este é o método considerado mais prático e que menos interfere na operação regular de abastecimento de água. No entanto, para utilizar o medidor de energia da concessionária elétrica três a seis meses podem ser suficientes medindo também a vazão. Constitui também um modo prático de acesso a dados, porém é um período mais longo.

Cabe ressaltar que se a bomba operar de modo extremamente variável sujeita a fenômenos climáticos (por exemplo para bombeamento de esgotos com águas pluviais), medir todo o espectro de funcionamento do conjunto moto-bomba para diversas vazões e pressões é necessário.

ii) Troca de conjunto motobomba e/ou colocação de inversor de frequência integrados em ETE ou ETA

Considerações gerais sobre a ação de eficiência

Podem ser medidos com a mesma opção do PIMVP a *performance* da substituição de conjunto motobomba por outros com melhor rendimento, assim como a instalação de inversor de frequência quando integrados em estações de tratamento, isto é, instalações com outros consumos de energia significativos para além do bombeamento.

O fator relevante para a opção PIMVP é que não sejam ocultados os ganhos de eficiência das ações realizadas em função da escala da instalação e ou possíveis variações de consumo. Ou seja, variações na operação na unidade processual de aeração ou de lavagem de filtros, centrifugação de lodos etc., podem não evidenciar a energia evitada, pelo que é necessária uma medição isolada.

Opção PIMVP

A opção de PIMVP adequada a este caso é B – Isolação da AEE: Medição de todos os parâmetros.

Variável dependente e variáveis independentes típicas

A variável dependente, que se pretende explicar é a energia consumida (kWh) para elevação de água e a variável independente o volume de água elevado (m³). A energia consumida é uma função de água bombeada.

$$E \text{ (kWh)} = f \text{ (m}^3\text{)}$$

Fronteira de medição

A fronteira de medição considera duas grandezas:

- A medição energia em medidor específico para a elevação de água.
- O medidor de vazão com totalizador de volume de água bombeado.

Modelo da Linha base

$$\text{Energia (kWh)} = \text{consumo específico de energia (kWh/m}^3\text{)} \times V_{\text{bombeado}} \text{ (m}^3\text{)} + b$$

Fatores estáticos típicos e efeitos interativos

Fatores estáticos são os níveis de colmatção de eventuais grelhas ou dos filtros associados à sucção e o estado de conservação das tubulações. Não foram identificados efeitos interativos.

Período e intervalo de medição para elaboração da linha base

Para a determinação da linha de base se recomenda usar sete dias de medição em um período representativo. Se a bomba operar de modo extremamente variável (por exemplo para bombeamento de esgotos com águas pluviais) se pode medir todo o espectro de funcionamento do conjunto moto-bomba para diversas vazões e pressões.

Período e intervalo de medição para a determinação de economia

Para determinar a economia se recomenda usar um período correspondente ao normal de funcionamento da instalação elevatória. uma semana / sete dias pode ser suficiente se usado equipamento de medição específico ou alternativamente o ensaio de todo o espectro de funcionamento do conjunto moto-bomba para diversas vazões. Esta alternativa se verifica logisticamente mais exigente, porém com um período de determinação mais curto.

iii) Aeração mais eficiente em estações de tratamento de esgoto

Considerações gerais sobre a ação de eficiência

Existem diversas opções para reduzir os gastos energéticos do processo de aeração, estes podem ser medidos com a mesma opção do PIMVP a *performance* de aeração em estações de tratamento de esgoto através de troca sopradores, troca de motores, e/ou alteração na tecnologia utilizada.

A ação de eficiência pode ser a troca de difusores de ar/oxigênio, alteração de bolha grossa para bolha fina, aeradores superficiais ou profundos, uso de rotores mais propensos à mistura de ar-água e utilização de medidores de oxigênio online variando a frequência do aerador conforme a necessidade em tempo real de oxigênio, a altura da lâmina de água e do tanque de aeração também podem ser reduzidos necessitando de menos pressão de aeração, etc..

Opção PIMVP

A opção de PIMVP para estes casos é a B – Isolação da AEE: Medição de todos os parâmetros, conforme referidos em seguida.

Variável dependente e variáveis independentes típicas

A variável dependente, que se pretende explicar é energia consumida (kWh) e as variáveis independentes: volume de esgoto tratado (m³), DQO - Demanda Química de Oxigênio (mg/l). A energia consumida é variável em função da quantidade de esgoto tratado e o grau de depuração conferido.

$$E \text{ (kWh)} = f \text{ (quantidade esgoto tratado (m}^3\text{); DQO removido(mg/l))}$$

A DQO é um parâmetro que mede a quantidade de oxigênio necessária para ocorrer a oxidação da matéria orgânica biodegradável, caso se julgue relevante, podem ser medidos os parâmetros temperatura do esgoto (°C) e o pH da água, no entanto é fundamental conhecer a qualidade da água à entrada e à saída, pois uma redução no consumo de energia pode ser presumida como energia evitada, porém o nível de tratamento do efluente e respectiva carga poluente pode estar abaixo do requerido.

Dá-se preferência ao uso da DQO em detrimento da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) por razões de uma determinação mais célere e melhor controle operacional. A DQO se determina em cerca de duas horas, a DBO é determinada em três ou cinco dias.

Fronteira de medição

A fronteira de medição considera quatro ou cinco grandezas:

- O medidor de energia, que pode ser da concessionária, desde que o resultado esperado de economia seja superior a 15%; Caso a economia esperada for inferior, recomenda-se um medidor específico para os sopradores / areadores;
- O medidor de vazão de esgoto tratado (não deve incluir volumes relativos a recirculações, caso haja, pois a eficiência medida é do areação e não do bombeamento);
- Medidor de DQO do esgoto à entrada da estação ou do tanque de aeração;
- Medidor de DQO do esgoto à saída da estação ou do tanque de aeração;
- Medidor de temperatura e pH (podendo ser fatores estáticos ou variáveis independentes) no tanque de aeração, sendo que estas grandezas são medições normais de controle operacional.

Outra grandeza de medição é o oxigênio dissolvido no tanque de aeração. Este parâmetro serve, porém, para regular as necessidades operacionais de oxigenação e não para efeitos de medição e verificação de desempenho.

Modelo da Linha base

$$\text{Energia (kWh)} = a \times \Sigma(\text{DQO}_{\text{removida}}) \text{ (mg/l.dia)} + b \times \text{temperatura (}^\circ\text{C)} + c \times (\text{pH}) + d$$

Onde

$$\text{DQO}_{\text{removida dia } i} \text{ (mg/l.dia)} = \text{DQO}_{\text{entrada dia } i} - \text{DQO}_{\text{saída dia } i}$$

Nesta situação pode-se fazer uma analogia com ações de eficiência energética em sistemas de ar condicionado onde $\text{DQO}_{\text{removida}}$ corresponde a graus.dia. Nesse contexto a $\text{DQO}_{\text{entrada}}$ corresponderia à temperatura ocorrida em determinado dia e $\text{DQO}_{\text{saída}}$ é a temperatura de conforto. Em sistemas de ar condicionado a variável independente são graus.dia, do diferencial de temperatura onde

$$\text{graus.dia} = \Sigma (\text{temperatura externa}_{\text{dia } i} - \text{temperatura de conforto}_{\text{dia } i})$$

Fatores estáticos típicos

São fatores estáticos típicos o rendimento dos motores dos sopradores, mecanismos de transferência de oxigênio para a água (obstrução e colmatação de difusores, tamanho da bolha de ar/oxigênio, tempo de contato entre outros)

Variações não esperadas na qualidade do esgoto (cargas fora do normal, cargas tóxicas, alterações de significativas de pH ou eventos de *wash-out* da matéria biológica) são fenômenos que requerem ajustes de não rotina na linha de base. Não foram identificados efeitos interativos.

Período e intervalo de medição para elaboração da linha base

Para determinação da linha de base se recomenda medir estes parâmetros ao longo de 30 (trinta) dias, desde que seja estável e representativo, com medições de DQO diários. Os demais parâmetros são de medição mais fácil e geralmente coletados em linha.

Caso haja oscilações significativas na qualidade do esgoto afluente e a qualidade no efluente tratado à saída, então deve ser prolongado as medições até se obter um modelo de linha base com boa adesão, de preferência $R^2 > 0,75$.

Período e intervalo de medição para a determinação de economia

O período recomendado para determinação da economia é de um mês para estações de tratamento com operação estável em termos de qualidade de entrada e de saída ou de seis meses quando as oscilações são significativas.

iv) Evitar o uso de energia em horas de ponta em diversas operações unitárias (redução esperada de demanda >10%)

Considerações gerais sobre a ação de eficiência

Diversas operações onde é possível evitar o uso de energia em horas de ponta podem ser medidas com a mesma opção PIMVP. Pode-se bombear em horário fora de ponta desde que exista capacidade de reserva de água suficiente. Uma medida de eficiência seria a operação em horário diferenciado ou o aumento de reserva. A lavagem de filtros em estações de tratamento de água, as paradas de arejamento em tanques de oxidação (períodos anóxicos), a centrifugação e ou desidratação de lodos podem ser programadas para ocorrer fora do horário de ponta. Geralmente requer apenas armazenamento suficiente para superar o horário de ponta.

A economia de demanda dá-se com a seguinte fórmula, em que $t_2 > t_1$ (tempo de operação).

$$\Delta P \text{ (kW)} = P_2 \left(1 - \frac{t_2}{t_1}\right)$$

ΔP é a economia de demanda;

P é potencia utilizada

t_2 e t_1 são o tempo de operação antes e depois da ação;

A lavagem de filtros em estações de tratamento de água, as paradas de arejamento em tanques de oxidação (períodos anóxicos), a centrifugação e ou desidratação de lodos podem ser programadas para ocorrer fora do horário de ponta. Geralmente requer apenas armazenamento suficiente para superar o horário de ponta.

Opção PIMVP

A opção de PIMVP para estes casos é a C – Toda a instalação, seja ela uma estação de tratamento de água, ou de esgoto. É condição da seleção da opção C que a redução esperada seja superior a 10% para que esse efeito possa inequivocamente ser atribuída à ação eficiência com o presente processo de medição e verificação.

Variável dependente e variáveis independentes típicas

A variável dependente, que se pretende explicar é demanda (kW) e a variável independente horas de funcionamento em ponta (t_{ponta}).³³ A demanda utilizada é uma função das horas de operação em ponta.

$$D(\text{kW}) = f(t_{\text{ponta}})$$

Fronteira de medição

A fronteira de medição considera duas grandezas:

- medição de potência demandada (kW) no medidor da concessionária elétrica
- medição de horas e horário de operação do equipamento

A medição de ambas as grandezas pode ocorrer no medidor da concessionária elétrica, não sendo necessário equipamento adicional do prestador de serviço de saneamento.

A memória de massa com frequência de 5 minutos é uma boa base sobre os dados de demanda ou um conjunto representativo de faturas de eletricidade.

Modelo da Linha base

Demanda (kW) em horas de ponta = Demanda em ponta (kW) em horas de ponta +b

Neste caso a variável dependente (que se pretende explicar) coincide com a variável independente.

Fatores estáticos típicos e efeitos interativos

Fatores estáticos típicos podem ser os picos de arranque dos motores que devem se manter antes e depois da ação de eficiência. Não foram identificados efeitos interativos.

Período e intervalo de medição para elaboração da linha base

A linha de base pode ser obtida com diversos conjuntos de dados:

- uso dos dados de faturas elétricas com regularidade mensal - um conjunto de seis meses a um ano, deve ser suficiente.
- memória de massa com frequência de cinco minutos é uma boa base sobre os dados de demanda em horário de ponta

Período e intervalo de medição para a determinação de economia

Para determinar a economia recomenda-se usar um período mais prolongado para verificar que realmente a alteração operacional de caráter comportamental ocorreu. Considera-se que 6 meses a um ano é um bom período.

v) Evitar o uso de energia em horas de ponta em diversas operações unitárias (redução esperada <10%)

Considerações gerais sobre a ação de eficiência

As ações desse cenário são idênticas às apresentadas no item 4 - Evitar o uso de energia em horas de ponta em diversas operações unitárias (redução esperada >10%)

Opção PIMVP

A opção de PIMVP para estes casos é a B – Isolação da AEE, onde se medem os parâmetros especificamente dessa ação de eficiência, conforme referidos em seguida.

³³ Não constitui uma eficiência de energia, mas pode ser expresso em um ganho econômico para o prestador de serviço. $\text{Gasto} (\$R) = f(t_{\text{ponta}})$. A energia consumida fora de ponta é mais econômica.

A seleção da opção B está condicionada a reduções inferiores a 10% para que se possa, através de medições específicas, atribuir à ação de eficiência energética a redução de energia.

Variável dependente e variáveis independentes típicas

Idêntico como no item 4 - Evitar o uso de energia em horas de ponta em diversas operações unitárias (redução esperada >10%)

$$D(\text{kW}) = f(t_{\text{ponta}})$$

Fronteira de medição

A fronteira de medição considera duas grandezas:

- Medição de potência demandada (kW) no medidor específico do prestador de serviço
- Medição de horas e horário de operação do equipamento

A medição de ambas as grandezas têm de ocorrer no equipamento onde se realiza a alteração do modo operacional. Nesse caso a memória de massa de toda a instalação estação de tratamento de água ou de esgoto não é adequada, porque reúne informações de todos os equipamentos elétricos dentro da estação.

Modelo da Linha base

Idêntico como no item 4 - Evitar o uso de energia em horas de ponta em diversas operações unitárias (redução esperada >10%)

Fatores estáticos típicos e efeitos interativos

Fatores estáticos típicos podem ser os picos de arranque dos motores.

Não foram identificados efeitos interativos.

Período e intervalo de medição para elaboração da linha base

A determinação da linha de base pode ser obtida em medições de sete dias, ou de trinta dias correspondente a um ciclo de operação com coleta de dados cada cinco minutos.

Período e intervalo de medição para a determinação de economia

Para determinar a economia recomenda-se usar um período prolongado para verificar que realmente a alteração operacional de caráter comportamental ocorreu. Considera-se que seis meses a um ano é um bom período.

vi) Redução de vazamentos por redução de pressão na rede de distribuição

Considerações gerais sobre a ação de eficiência

A redução de vazamentos por redução de pressão na rede constitui uma medida de economia de água e também economia de energia desde que a água tenha sido previamente bombeada e tratada. O potencial de economia de água é variável dependendo do estado de conservação das redes de abastecimento e ramais de ligação. Com uma gestão adequada de pressões pode-se reduzir perdas de água desde 5 a 60%, dependendo do estado de ineficiência inicial. Os efeitos de economia por meio do controle de pressões na rede são imediatos.

Opção PIMVP

A opção de PIMVP para estes casos é a C – Toda a instalação, sendo que aqui a totalidade da instalação corresponde à Zona de Medição e Controle (ZMC). A ZMC é uma zona setorizada da rede de abastecimento, sendo que todas as entradas de água nesse setor são conhecidas e de saída, caso haja para outros setores. Para esta estratégia não é relevante as saídas por via dos hidrômetros dos utilizadores - consumidores.

Também pode-se justificar opção de PIMVP com B - Isolação da AEE – argumentando que se está medindo todos parâmetros, que seriam pressão e perdas de água. A medição de perdas de água requer medições adicionais nos respectivos períodos junto aos hidrômetros dos consumidores. Percebe-se que a classificação de Opção B ou Opção C não tem diferenças práticas no processo de M&V.

Variável dependente e variáveis independentes típicas

Existem duas abordagens em relação a variáveis dependentes e independentes:

I - A variável dependente, que se pretende explicar são as perdas de água (m^3) e a variável independente é a pressão no setor (mca ou bar). A água perdida é uma função da pressão da existente no setor.

$$V_{\text{água perdida}} (m^3) = f (mca)$$

II - Alternativamente a variável dependente pode ser água usada no setor (m^3) que é o volume constituído pelas perdas e o consumo; e a variável independente é a pressão no setor (mca ou bar). A água entrada no setor é uma função da pressão da existente na rede.

$$V_{\text{água entrada no setor}} (m^3) = f (mca)$$

A segunda disposição tem a vantagem de reduzir uma grandeza de medição (água micro medida, que é imperioso para determinação de perdas de água) e conseqüentemente reduzir o tempo considerável que é necessário para a coleta desses dados.

Fronteira de medição

Na disposição I a fronteira de medição é:

- medição de pressão na entrada do setor
- medição de volume de água que entrou no setor
- medição de volume de água consumida, isto é, os hidrômetros dos usuários no setor

Para a disposição I são necessários dados (com regularidade mensal) do departamento comercial do prestador de serviço de água e dados (disponibilidade imediata) do departamento operacional responsável pelo abastecimento do setor.

Na disposição II a fronteira de medição é:

- medição de pressão à entrada do setor
- medição de volume de água que entrou no setor

A disposição II é mais prática por não necessitar de dados do departamento comercial do prestador de serviço de água.

Modelo da Linha base

Na disposição I:

$$\text{Perdas de água } (m^3) = a \times \text{pressão } (mca) + b$$

Onde:

$$\text{Perdas de água } (m^3) = a \times \text{Água entrada no setor } (m^3) - b \times \text{Água consumida no setor } (m^3)$$

Na disposição II:

$$\text{Água usada no setor (m}^3\text{)} = a \times \text{pressão (mca)} + b$$

Onde:

$$\text{Água usada no setor (m}^3\text{)} = \text{Água}_{\text{entrada no setor}} \text{ (m}^3\text{)} = \text{Perdas de água (m}^3\text{)} + \text{Água}_{\text{consumida no setor}} \text{ (m}^3\text{)}$$

Pode-se verificar que a disposição II é suficientemente simples para comprovar reduções de perdas ou de consumos.

Para mensurar a eficiência em termos de energia as perdas de água seria um proxy. A economia de energia é:

$$\text{Consumo de energia (kWh/ano)} = \text{Consumo de água evitada (m}^3\text{/ano)} * \text{Consumo específico de energia para abastecimento nesse sistema (kWh/m}^3\text{)}$$

Fatores estáticos típicos e efeitos interativos

São fatores estáticos a regularidade de abastecimento (por exemplo 24 horas de sistema pressurizado sem rodízio), o tamanho da rede deveria manter-se sem ampliações ou redução do setor. Não deveria haver consumos excepcionais tais como: água para incêndios, rupturas de rede excepcionais, passagem de cargas elevadas sobre as tubulações ou terremotos e vibrações extraordinárias que provoquem deslocamentos extraordinários de tubulações.

A tipologia de uso da água também deveria ser mantida, ou seja, as características de zona residencial ou indústrias e comércios deveriam permanecer estáveis no período de linha base e de determinação da economia.

Efeitos interativos nesta ação de eficiência é uma redução de produtos químicos para o tratamento da água, a postergação de investimentos de expansão do sistema produtivo de água e uma maior disponibilidade de água para o setor produtivo (agrícola por exemplo) ou para uso ambientais e de recreação.

Período e intervalo de medição para elaboração da linha base

A disposição I requer necessariamente a consideração do período de um ciclo de leitura e faturamento, sendo cinco a seis ciclos (meses) desejáveis. Por este fato, o período de determinação da linha de base e de determinação da economia são longos, porém são dados que o prestador de serviço dispõe com facilidade.

Os dados instantâneos de pressão e de vazão terão de ser agrupados em médias mensais correspondente ao ciclo de leitura dos hidrômetros.

Na disposição II, para setores maiores com mais consumidores, uma a duas semanas pode ser representativo (desde que não coincida com períodos festivos). A água que entra no sistema terá vazões mais estáveis, seguindo padrões de repetição horária relativamente estáveis.

Para setores menores com menos consumidores, o período recomendável poderá ser mais longo e não deve coincidir com períodos festivos. A água que entra no sistema terá vazões mais oscilantes e de acordo com utilizações individuais.

Devem ser coletados dados até que a amostra possibilite elaborar um modelo com uma boa correlação ($r^2 > 0,75$, preferencialmente superior a 0,9). Os dados de vazão e pressão podem valores instantâneos, agrupados em médias horárias ou médias diárias.

A frequência recomendada de coleta ou de agrupamento de dados instantâneos é horária ou diária.

Período e intervalo de medição para a determinação de economia

Para determinar a economia recomenda-se usar três meses a seis meses na disposição I. Nesse período a economia ocorrida deveria ser verificável.

Na disposição II, o período de verificação pode ser sete dias que represente o funcionamento normal e mais longo para os setores pequenos onde a amplitude de variação esperada é maior.

vii) Redução de vazamentos por reabilitação de ramais de ligação e extensão de rede

Considerações gerais sobre a ação de eficiência

A reabilitação de ramais de ligação e de rede é uma medida de conservação de água e de energia, seja por reparação de vazamentos visíveis, seja por pesquisa ativa de vazamentos não visíveis.

O potencial de economia de água é variável dependendo da pressão de serviço, do tempo de pressurização e do estado de conservação das redes de abastecimento e ramais de ligação. Através da reabilitação de ramais de ligação e de redes pode-se reduzir perdas de água desde 5 a 60%, dependendo do estado de ineficiência inicial. Os efeitos de economia por meio do controle de pressões na rede são graduais e progressivas. A implementação pode ser longa dependendo da extensão da reabilitação. Geralmente a intervenção é longa sendo idealmente contínua para a totalidade do sistema de abastecimento.

Opção PIMVP

A opção de PIMVP para estes casos é a D – Simulação calibrada. Neste caso é necessário construir um modelo explicando as perdas de água ocorridas e simular as perdas que teriam ocorrido caso não se efetuasse a reabilitação dos ramais e das redes.

A modelagem hidráulica usando o *software* EPANET poderá ser uma ferramenta útil de apoio para elaborar e calibrar o modelo.

Variável dependente e variáveis independentes típicas

A variável dependente, que se pretende explicar são as perdas de água evitadas através da reabilitação (m^3) e as variáveis independentes os vazamentos reparados ($n.^o$), a pressão (mca) e tempo em que o setor se encontra pressurizado (h) em caso de haver rodízios. Poderá também ser uma variável a idade da rede e dos ramais (anos). A água perdida é uma função de diversas variáveis.

$$V_{\text{água perdida}} (m^3) = f (\text{vazamentos } (n.^o); \text{ pressão (mca); tempo de pressurização (h); idade rede (anos))}$$

Fronteira de medição

A fronteira de medição considera quatro a cinco grandezas a serem medidas em diversos locais:

- Medição de pressão em algum ponto representativo do setor;
- Medição das horas de pressurização em caso de rodízios;
- Medição de volume de água entrada no setor;
- Medição de volume de água consumida, isto é, os hidrômetros dos usuários nesse setor;
- Registro do número de vazamentos reparados;
- Classificação da dimensão do vazamento (grave, médio ou menor) ou (rede, ramal de ligação, cavalete).

Modelo da Linha base

O modelo da linha de base poderá ter diversas variáveis independentes em conta que deverão ser pesquisados e analisados:

Perdas de água evitadas (m^3) = a vazamentos reparados (n.^o) + b pressão (mca) + c idade da rede / ramais (anos) + d horas de pressurização (h) + e

ou

Perdas de água evitadas (m^3) = a vazamentos reparados (n.^o) + b idade da rede / ramais (anos) + d horas de pressurização (h) + e

Os modelos terão de ser pesquisados até a obtenção de uma boa correlação. Eventualmente pode não ser necessário utilizar a variável independente idade da rede e ramais se a correlação estiver boa. A matriz de materiais utilizados na rede (PEAD, FUFA, etc.) certamente é um fator importante, porém entram na parte variável (e) da equação e são considerados fatores estáticos.

Idealmente se utiliza o modelo que cumpra com uma correlação aceitável e que tenha o mínimo de variáveis para medir, tornando o processo de M&V menos oneroso. É necessário um balanceamento entre rigor científico e operacionalidade prática.

Para mensurar a eficiência em termos de energia as perdas de água evitadas seriam um proxy. A economia de energia é:

Consumo de energia (kWh/ano) = Perdas de água evitada (m^3 /ano) * Consumo específico de energia para abastecimento nesse sistema (kWh/ m^3)

Fatores estáticos típicos e efeitos interativos

A pressão de serviço, horas de abastecimento / rodízio dentro do setor são fatores estáticos (se não forem considerados como variáveis independentes). Após a implementação da medida de eficiência é esperado que não ocorram alterações significativas na pressão de serviço ou no rodízio de água.

A matriz de materiais utilizados na rede a ser reabilitada (PEAD, fibrocimento, FUFA, etc.) são um fator estático.

Os efeitos interativos nesta ação de eficiência são: uma redução de produtos químicos para o tratamento da água, a postergação de investimentos de expansão do sistema produtivo de água e uma maior disponibilidade de água para o setor produtivo (agrícola por exemplo) ou para uso ambientais e de recreação. Para o setor elétrico um efeito interativo é o proporcionado pela redução de demanda.

Período e intervalo de medição para elaboração da linha base

O período e intervalo de medição para elaboração da linha base pode ser bastante variável.

É útil dispor de uma base de dados histórica pré-existente sobre as variáveis dependentes e independentes.

Caso se queira incluir a taxa de degradação natural dos materiais é necessário um período considerável para realizar a calibração do modelo. A opção PIMVP D, neste caso, constitui o processo mais complexo de M&V.

Período e intervalo de medição para a determinação de economia

Para determinar a economia considera-se um período adequado seis meses a um ano. Nesse período a economia ocorrida deveria ser verificável. Em análises históricas (dez anos) essa economia fica mais evidente para este tipo de ações.

viii) Redução de vazamentos por redução do tempo de reparação de rede, ramais e cavaletes

Considerações gerais sobre a ação de eficiência

A redução de perdas de água por minimização do tempo de reparação de rede de distribuição, ramais e cavaletes é uma medida de conservação de água e de energia. A antecipação da reparação corresponde à redução do volume de água e energia perdida.

O potencial de economia de água expectável é variável dependendo da pressão de serviço e morosidade inicial de reparação pelas equipas do prestador de serviços de abastecimento.

Os efeitos de economia são relativamente pequenos e imediatos, porém a médio e longo prazo, ganhos relevantes poder ser auferidos.

Opção PIMVP

A opção de PIMVP para estes casos é a A – Isolação da AEE: medição dos parâmetros-chave. Neste caso os parâmetros-chave são o tempo de reparação (h) e o tipo de vazamento (rede, ramal ou cavalete) para definir o volume de água perdido teórico e a energia consumida.

Os parâmetros não selecionados para medição no campo são valores estimados, que devem ser baseadas em dados históricos ou juízo de engenharia. Estes parâmetros estimados são vazão (l/s) associada às três classes de vazamentos (rede, ramal e cavalete) e consumo específico de energia (kWh/m³).³⁴

Variável dependente e variáveis independentes típicas

A variável dependente, que se pretende explicar são as perdas de água evitadas através de práticas de reparação melhoradas (m³) e as variáveis independentes são o tempo de reparação (h) e a quantidade de vazamentos (n.^o). A água perdida evitável é uma função do número e tempo de reparação de vazamentos.

$$\text{V\`{a}gua perdida evit\`{a}vel (m}^3) = f(\text{tempo de repara\`{c}\`{o} (h); vazamentos (n}^o))$$

Se a variável dependente, que se pretende explicar for a energia evitada (kWh) as variáveis independentes são: água não perdida (m³) e consumo específico de energia (kWh/m³).

Fronteira de medição

A fronteira de medição considera as seguintes grandezas:

Para determinar o consumo específico de energia (kWh/m³):

- medição de energia em todas as elevatórias que bombeiam para a rede de abastecimento;
- medição de volume de água em todas as elevatórias que bombeiam para a rede de abastecimento.

Para determinar a vazão (l/s) por tipo de vazamento (cavalete, ramal e rede):

- Registros históricos e juízo de engenharia.

Para determinar o tempo de reparação:

- Registro da hora e dia da detecção e notificação do vazamento (habitualmente em ordens de serviço);

³⁴ No anexo está um exemplo deste caso – ver Anexo – Caso de estudo Redução de perdas de água – sistema de gestão

- Registro da hora e dia do corte de água em que findou o vazamento (habitualmente em ordens de serviço).

Modelo da Linha base

$$\text{Perdas de água (m}^3\text{)} = a \times \text{horas de reparação}_{\text{rede}} \text{ (h)} \times \text{vazamentos reparados}_{\text{rede}} \text{ (n.}^{\circ}\text{)} \\ + b \times \text{horas de reparação}_{\text{ramais}} \text{ (h)} \times \text{vazamentos reparados}_{\text{ramais}} \text{ (n.}^{\circ}\text{)} + c \times \text{horas de} \\ \text{reparação}_{\text{cavaletes}} \text{ (h)} \times \text{vazamentos reparados}_{\text{cavaletes}} \text{ (n.}^{\circ}\text{)} + d$$

Para mensurar a eficiência em termos de energia o consumo de água seria um proxy. A economia de energia é:

$$\text{Consumo de energia (kWh/mês)} = \text{Perdas de água evitada (m}^3\text{/mês)} * \text{Consumo} \\ \text{específico de energia para abastecimento em esse sistema (kWh/m}^3\text{)}_{\text{mês } i}$$

Fatores estáticos típicos e efeitos interativos

A pressão de serviço é um fator estático da mesma forma que os procedimentos de registro da hora de notificação da reparação (hora de notificação por telefone, ou registro no sistema) e a hora do corte de água para reparação.

Um dos efeitos interativos nesta ação de eficiência é a imagem do prestador de serviço perante os seus usuários. Em nível econômico pode-se referir uma redução de produtos químicos para o tratamento da água, a postergação de investimentos de expansão do sistema produtivo de água e uma maior disponibilidade de água para o setor produtivo (agrícola por exemplo). Em nível ambiental haverá mais disponibilidade hídrica para usos ecológicos e de recreação. Para o setor elétrico um dos efeitos interativos é uma a redução de demanda no sistema.

Período e intervalo de medição para elaboração da linha base

O período e o intervalo de medição para elaboração da linha base pode ser bastante variável. A medição deve ser tão longa que permita obter um modelo com boa adesão ($r^2 > 0,75$, sendo um valor $>0,9$ ideal).

É útil dispor de uma base de dados e histórico pré-existentes.

Período e intervalo de medição para a determinação de economia

Para determinação da economia considera-se adequado um período de seis meses a um ano. Nesse período deveria ser verificável a manutenção da alteração das práticas no sistema de gestão e a economia ocorrida.

ix) Alterações no layout do sistema de distribuição

Considerações gerais sobre a ação de eficiência

Pode existir um potencial de economia de energia em alterações no layout do sistema que conduzam a maiores níveis de eficiência energética conforme descritos em na página 55 no capítulo de Alteração na disposição do sistema de abastecimento. Exemplos disso são:

- Construção de reservatórios de distribuição em cotas mais baixas, requerendo menos elevação de água, ou gerando menos pressão de serviço no sistema e consequentemente menos perdas;
- Delimitação de setores de pressão e construção de anéis de abastecimento de água em zonas urbanas em detrimento de abastecimento por rede malhada indiferenciada;
- Alterações no traçado de adutoras evitando desníveis altos, realização de tuneis através de elevações topográficas em detrimento a oscilações de cota;
- Redução de pressão de serviço em setores e instalação de *boosters* para zonas topográficas com elevação especial;

- Captação de água em origens com cota que necessitam de menos bombeamento (subterrânea *versus* superficial, por gravidade *versus* por bombeamento);
- Ajustes da altura em tanques de ETE ou ETA.

Opção PIMVP

A opção de PIMVP para estes casos é a D – Simulação calibrada. Neste caso é necessário construir um modelo explicando as perdas de carga ocorridas e simular. Na componente de redes (primeiros quatro itens) a modelagem hidráulica usando o *software* EPANET poderá ser útil. Na calibração do modelo. Nos últimos dois itens cálculos genéricos de simulação poderão ser suficientemente adequados.

Variável dependente e variáveis independentes típicas

A variável dependente, que se pretende explicar é a energia consumida para bombeamento (kWh) e as variáveis independentes a água elevada (m³) e altura de elevação (mca) nas diversas configurações. A energia consumida é uma função da água elevada e da altura manométrica de bombeamento.

$$E \text{ (kWh)} = f \text{ (m}^3\text{;mca)}$$

Fronteira de medição

A fronteira de medição considera quatro ou cinco grandezas:

- Os medidores de energia relativos aos bombeamentos do sistema que é objeto da alteração de layout. Estes poderão ser os medidores da concessionária de energia;
- Medidores vazão de toda a água que é elevada;
- Determinação da altura de elevação (parâmetro-chave).

Modelo da Linha base

$$\text{Energia (kWh)} = \sum a_i \times \text{Volume elevado}_i \text{ (m}^3\text{)} * \text{Altura de elevação}_i \text{ (mca)} + b$$

Fatores estáticos típicos

A pressão de serviço, rendimento dos motores e de bombas, estado de conservação de adutoras são fatores estáticos. Não foram identificados efeitos interativos.

Período e intervalo de medição para elaboração da linha base

O Período e intervalo de medição para elaboração da linha base pode ser bastante variável. A medição deve ser tão longa que permita obter um modelo com boa adesão ($R^2 > 0,75$, e preferencialmente $e > 0,9$). É útil dispor de uma base de dados e histórico pré-existente.

Período e intervalo de medição para a determinação de economia

Para determinar a economia considera-se adequado um ciclo de operação podendo ser sete dias, trinta dias ou 180 dias. Nesse período deveria ser comprovável a economia ocorria pela alteração do layout.

x) Redução de perda de carga em barriletes, adutoras e outros pontos do sistema

Considerações gerais sobre a ação de eficiência

Exemplos do potencial de economia através de redução de perda de carga estão descritos na página 54 no capítulo de Diversas medidas de redução das perdas de carga. Entre eles estão:

- Limpezas internas de adutoras. reduziras ações voltadas a redução da rugosidade interna de tubulações, seja ela constituída por incrustações formadas ao longo do tempo pela qualidade da água ou por biofilme constituem boas práticas. A redução das

rugosidades das paredes internas de adutoras pode-se efetuar com o uso de *poly pigs*;

- Remoção de vórtices no tubo de sucção de água para bombas;
- Redução de fenômenos de cavitação nas hélices das bombas;
- Suavização de curvas acentuadas no traçado de tubulações ou suavização em estreitamentos e alargamentos bruscos nos diâmetros.

Opção PIMVP

A opção PIMVP para estes casos pode ser a A, a B, a C ou a D dependendo da justificativa utilizada e da quantidade de variáveis que se pretende medir. A opção preconizada é a B.

B – Isolação da AEE: medição de todos os parâmetros, sendo eles energia que pode ser no medidor da concessionária de energia elétrica e vazão.

Na sequência, outras opções do PIMVP são justificáveis:

A – Isolação da AEE: medição de todos os parâmetros, sendo eles energia, vazão, pressão, cálculo e estimativas de coeficientes de rugosidade

C – Toda a instalação: medição de energia no medidor da concessionária, porém é necessário pelo menos medir o parâmetro vazão adicionalmente. As opções B e C assemelham-se na prática e não trazem demais consequências;

D – Simulação calibrada através de modelos mais complexos podendo se utilizar softwares de fabricantes de tubulações.

Variável dependente e variáveis independentes típicas

A variável dependente, que se pretende explicar é a energia consumida para bombeamento (kWh) e as variável independente a água elevada (m³). A energia consumida é uma função de água bombeada.

$$E \text{ (kWh)} = f \text{ (m}^3\text{)}$$

Nesta proposta altura de elevação (mca) é um fator estático.

Fronteira de medição

A fronteira de medição considera as seguintes grandezas:

- Medidor de energia relativos ao bombeamento do sistema que é objeto da redução de perda de carga. Estes poderão ser os da concessionária de energia ou específicos;
- Medidores vazão a água que é elevada;
- Determinação da altura de elevação necessária (parâmetro-chave).

Deliberadamente não se recomenda usar pressão de serviço, pois uma maior pressão não significa um melhor atendimento. Da mesma forma, se evita medir mais um parâmetro que onera o processo de M&V.

Modelo da Linha base

$$\text{Energia (kWh)} = a \times \text{Volume elevado (m}^3\text{)} + b$$

Uma alternativa de modelo de linha base que é mais exigente em medições pode ser:

$$\text{Energia (kWh)} = a \times \text{Volume elevado (m}^3\text{)} + b \times \text{Pressão (mca)} + c$$

Fatores estáticos típicos

Nesse caso, são fatores estáticos a pressão de serviço (caso não seja considerada uma variável independente), o rendimento dos motores e de bombas e demais configurações das adutoras.

Como efeitos interativos identifica-se a redução do desgaste dos materiais, aumentando a vida útil das infraestruturas além do adiamento de investimentos de substituição.

Período e intervalo de medição para elaboração da linha base

Assim como no caso anterior, a período e intervalo de medição para elaboração da linha base pode ser bastante variável. A medição deve ser tão longa que permita obter um modelo com boa adesão ($r^2 > 0,75$, e preferencialmente $> 0,9$). É útil dispor de uma base de dados histórica pré-existent.

Alternativamente pode-se realizar um dia de ensaios onde o equipamento de bombeamento é submetido a todo o espectro de funcionamento da bomba com diversas pressões e vazões.

Período e intervalo de medição para a determinação de economia

Para determinar a economia considera-se adequado um ciclo de operação podendo ser uma semana – um mês ou seis meses dependendo da periodicidade dos dados coletados na elaboração da linha de base.

Alternativamente pode-se realizar um dia de ensaios onde se o equipamento de bombeamento é submetido a todo o espectro de funcionamento da bomba com diversas pressões e vazões.

xi) Medição individualizada de consumos de água em condomínios

Considerações gerais sobre a ação de eficiência

A medição individualizada de consumos de água em condomínios por meio da instalação de hidrômetros individuais para cada residência constitui uma ação de eficiência hídrica e energética. O resultado esperado é a redução do volume água consumido em cerca de 10 a 30%.

A Lei Federal nº 13.312 promulgada a 12 de julho de 2016 obriga a medição individualizada (MI) em novos empreendimentos em todo território nacional a partir do ano de 2021. Esta Lei constitui uma medida política que contribui para a redução dos consumos de energia. Os municípios, contudo, poderão antecipar a aplicação da lei e até sempre que viável exigir a hidrometração individualizada em condomínios existentes.

Opção PIMVP

A opção de PIMVP para estes casos é a C – Toda a instalação. Neste caso toda a instalação significa todo o condomínio.

Variável dependente e variáveis independentes típicas

Volume de água consumido ($m^3/mês$) e (m^3/ano) resultante da mudança comportamental após individualização.

A variável dependente (que se pretende explicar) coincide com a variável independente, neste caso, o volume de água consumido ($m^3/mês$) e (m^3/ano) resultante da mudança comportamental após individualização. A unidade recomendada é ($m^3/mês$) pois coincide com periodicidade mensal de faturação.

Fronteira de medição

A medição de água consumida é realizada unicamente à entrada do condomínio. Esse medidor tem de se manter antes e depois da ação de eficiência. Após a comprovação dos ganhos de eficiência pode ser removido o hidrômetro totalizador do condomínio.

Modelo da Linha base

$$\text{Consumo de água (m}^3\text{/ano)} = \sum a_{1-12} \times V_{\text{base}} \text{ (m}^3\text{/mês)}$$

a1-12 correspondem a fatores padrão de desvio mensal.

Para mensurar a eficiência em termos de energia o consumo de água seria um proxy. A economia de energia é:

$$\text{Consumo de energia (kWh/ano)} = \text{Consumo de água evitada (m}^3\text{/ano)} \times \text{Consumo específico de energia para abastecimento em esse sistema (kWh/m}^3\text{)}$$

Fatores estáticos típicos e efeitos interativos

A ocupação e atividades dentro do condomínio são fatores estáticos. Espera-se que após a implementação da medida de eficiência não ocorram alterações significativas como por exemplo, apartamentos que fiquem vazios, ou alterações em atividades intensivas em água (piscinas, saunas, cabeleireiro, lavagem de roupa intensiva, irrigação de áreas verdes novas etc.) Caso isso ocorra será necessário um ajuste na linha de base para aferir a economia de água.

Um ano particularmente quente ou frio, ou com racionamento de água também são fatores não esperados, mas que terão de ser considerados no cálculo da economia, caso ocorram.

Como efeito interativo se pode esperar uma melhor aplicação do princípio utilizador – pagador, gerando maior equidade entre os usuários. Dependendo do prestador de serviço e respectivo regime tarifário a faturamento individualizada pode aumentar a receita.

Período e intervalo de medição para elaboração da linha base

Para determinação da linha de base recomenda-se usar um ou mais anos de faturamento, correspondendo a doze ou mais medições. Para esse período se registram os volumes de consumo.

Período e intervalo de medição para a determinação de economia

Para determinar a economia recomenda-se usar 6 meses a 12 meses. Nesse período deveria ser verificável a economia ocorrida.

xii) Campanha de sensibilização e informação para redução de consumo de água

Considerações gerais sobre a ação de eficiência

A redução no consumo de água pela população e atividades econômicas constitui uma medida de economia de água e também de energia. A crise hídrica do estado de São Paulo ocorrida entre 2013 e 2015 mostra que após a crise a população adotou padrões de consumos inferiores ao período anterior à seca, constituindo uma alteração comportamental para um padrão de consumo mais racional do usuário.

A redução de consumo de água pode ser alcançada através do uso de dispositivos de baixo consumo ou também pela sensibilização da população com campanhas informativas.

Para os prestadores de serviço pode ser atrativo realizar campanhas de redução de consumo, instalação de dispositivos de baixo consumo e realizar acordos com grandes consumidores que

geralmente beneficiam de tarifários que não cobrem os custos reais (escolas, instalações desportivas, edifícios públicos, regas de zonas recreativas).

A experiência mostra que campanhas informativas pela mídia podem reduzir até 15% do consumo de água.

Opção PIMVP

A opção de PIMVP para estes casos é a B – Isolação da AEE: Medição de todos os parâmetros, sendo a medição realizada em todos os hidrômetros instalados.

A medição dos volumes consumidos nos hidrômetros não constitui um trabalho adicional para o prestador de serviço, porque essa medição mensal ocorre geralmente para efeitos de faturamento.

Variável dependente e variáveis independentes típicas

A variável dependente, que se pretende explicar é o consumo de água evitada que coincide com a variável independente através da campanha de sensibilização (m³).

A unidade recomendada é (m³/mês) pois coincide com periodicidade mensal de faturamento.

Se variável dependente, que se pretende explicar for a energia evitada (kWh) as variáveis independentes são: água não perdida (m³) e consumo específico de energia (kWh/m³).

Alternativamente, uma variável independente poderia ser a eficácia da campanha de sensibilização, sendo que nesse caso a opção PIMVP deveria ser a D ou A.

Fronteira de medição

A fronteira de medição é a medição em todos os hidrômetros do prestador de serviço, ou no subconjunto que são o alvo das campanhas informativas ou de acordos por exemplo economias residenciais ou de grandes consumidores (escolas, instalações desportivas etc.)

Modelo da Linha base

$$\text{Consumo de água (m}^3\text{/ano)} = \sum a_{1-12} \times V_{\text{base}} \text{ (m}^3\text{/mês)}$$

Sendo que a_{1-12} correspondem a fatores padrão de desvio mensal.

Se for objetivo determinar a economia de energia o modelo seria:

$$\text{Consumo de energia (kWh/ano)} = \text{Consumo de água evitada (m}^3\text{/ano)} \times \text{Consumo específico de energia para abastecimento em esse sistema (kWh/m}^3\text{)}$$

Fatores estáticos típicos e efeitos interativos

A ocupação e atividades dentro no sistema de abastecimento são fatores estáticos. Também são fatores estáticos a disponibilidade de água, isto é a ausência de restrições ao consumo como crises hídricas.

Efeitos interativos nesta ação de eficiência é a postergação de investimentos de expansão do sistema produtivo de água e uma maior disponibilidade de água para o setor produtivo (agrícola por exemplo) ou para uso ambientais e de recreação. Também é um efeito interativo a imagem do prestador de serviço junto dos seus clientes, transmitindo preocupações de sustentabilidade ambiental.

Período e intervalo de medição para elaboração da linha base

Para determinação da linha de base recomenda-se usar um ou mais anos de faturamento, correspondendo a doze ou mais medições. Para esse período se registram os volumes de consumo.

Período e intervalo de medição para a determinação de economia

Para determinar a economia se recomenda usar 6 meses a 12 meses. Nesse período deveria ser verificável a eficácia da campanha informativa.

4.4. Outras Ações Integrantes de Projeto - PEE

Este capítulo é baseado na seção 4.3 do Módulo 4 do PROPEE e contempla as demais ações mínimas que devem compor um projeto de **eficiência energética do PEE**.

Há que se observar atentamente os requisitos do Edital de CPP da distribuidora de energia elétrica que pode trazer outras exigências não especificadas no PROPEE.

Treinamento e capacitação

Devem-se promover ações voltadas ao Treinamento e Capacitação de equipes técnicas e administrativas que atuam nos consumidores beneficiados ou a formação de cultura em conservação e uso racional de energia em comunidades ou grupos de consumidores beneficiados por um projeto de eficiência energética dentro do PEE, desde que obedeçam às seguintes condições:

- Ter como objetivo garantir a permanência e/ou ampliação de ações de eficiência energética implantadas.
- Ter todos os custos considerados no cálculo da relação custo benefício do projeto.
- Se houver participação da equipe de gestão do PEE da distribuidora, seus custos deverão ser contabilizados no Plano de Gestão da Distribuidora.
- Em todo material didático e de divulgação do treinamento ou do curso deverá estar destacada a logomarca do PEE de acordo com o Módulo 2 do PROPEE – Gestão do Programa.
- As atividades deverão se adequar a cada projeto, observando-se o seu porte e o porte das instalações beneficiadas, margem em relação à RCB limite, projetos que possam compartilhar estas atividades, meios de comunicação disponíveis, etc. Em caso extremo, pode ser apenas uma palestra sobre o projeto, programa e eficiência energética.

As fases do Treinamento e Capacitação estão vinculadas ao projeto que a integra.

- Seleção - Durante a fase de Seleção do projeto, deve ser previsto no orçamento recurso para as atividades de Treinamento e Capacitação.
- Definição - Durante a fase de Definição do projeto, deve-se estabelecer quais serão as atividades de Treinamento e Capacitação, definindo-se conteúdo programático, instrutor, público alvo, carga horária, cronograma, local e todos os custos relacionados. As atividades de Treinamento e Capacitação deverão proporcionar uma correta operação e manutenção do equipamento, bem como o seu uso o mais eficiente possível do ponto de vista da utilização da energia. Deverão também estimular a gestão energética e o aprimoramento constante desta prática.
- Avaliação Inicial - No caso de projetos com Avaliação Inicial, deverá ser fornecida a definição das atividades de Treinamento e Capacitação.

- Execução - No momento mais adequado, em geral após a implementação das ações de eficiência energética, de acordo com o cronograma estabelecido, executar o treinamento, com avaliação do aprendizado (teste) e do treinamento (questionário).
- Verificação - Sempre que possível, deve-se envolver o pessoal que irá operar e manter os novos equipamentos e sistemas eficientes nesta fase, como complemento ao processo de Treinamento e Capacitação.
- Auditoria Contábil e Financeira - De acordo com o Manual de Contabilidade do Setor Elétrico.
- Relatório Final - Incluir no Relatório Final os dados das atividades de Treinamento e Capacitação realizadas: conteúdo programático, instrutor, público-alvo, carga horária, cronograma, local, custos relacionados e resultados das avaliações do aprendizado e do treinamento.
- Avaliação Final - As atividades de Treinamento e Capacitação serão avaliadas como parte importante do projeto de eficiência energética.
- Fiscalização - Fornecer as informações solicitadas.
- Acompanhamento - Os estudos de perenidade das economias obtidas deverão observar também as atividades de Treinamento e Capacitação realizadas.
- Todos os projetos apoiados pelo PEE deverão contemplar atividades de Treinamento e Capacitação.

Descarte de equipamentos

Os equipamentos substituídos em projetos apoiados pelo PEE deverão ser descartados conforme o estabelecido neste item, a menos que seu reaproveitamento possa ser caracterizado como uso mais eficiente de energia.

A justificativa de eventual reaproveitamento deverá constar no Relatório Final.

Componentes de equipamentos (como sistemas de proteção, equipamentos auxiliares, etc.) ou equipamentos substituídos por má adequação energética em bom estado de conservação e uso eficiente da energia poderão ser reaproveitados.

Todos os equipamentos retirados de operação deverão ser descartados e seus resíduos destinados e dispostos de maneira ambientalmente adequada conforme estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei no 12.305 de 2 de agosto de 2010 – BRASIL, 2010a), regulamentada pelo Decreto no 7.404 de 23 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010b)

Para os equipamentos de refrigeração e condicionamento ambiental, deve também ser observada a ABNT NBR 15833:2010 - Manufatura reversa – Aparelhos de refrigeração (ABNT, 2010), ou sua edição mais recente.

As empresas contratadas para efetuar o descarte dos equipamentos e seus resíduos deverão demonstrar sua capacidade em atender às regulamentações apontadas acima.

Comunicação e publicidade

As estratégias de comunicação e publicidade variam de distribuidora para distribuidora. O PROPEE define tão somente o limite de investimento máximo permitido nessas ações, bem como exige a utilização do logotipo do Programa de Eficiência Energética da Aneel (consulte www.aneel.gov.br). Resguardadas essas restrições, a distribuidora pode solicitar a inclusão no projeto dos recursos financeiros para comunicação e publicidade, cabendo à própria distribuidora o uso e gestão desses recursos. Por outro lado, há empresas que transferem para o cliente a responsabilidade pela elaboração das peças publicitárias e a gestão dos recursos. Portanto, este item requer uma leitura atenta dos editais de chamada pública de projetos.

5. Bibliografia

- BRASIL. Ministério das Cidades (MCIDADES). Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA). Programa de Modernização do Setor de Saneamento (PMSS). Projeto COM+ÁGUA. **Sistematização das Metodologias Empregadas**. Brasília: MCIDADES, 2008.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética**, 1ª Edição. Brasília: MME, 2013.
- BEZERRA, S. T. M., CHEUNG, P. B.. **Perdas de Água – Tecnologias de Controle**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2013.
- FERREIRA, Carlos Aparecido. **Motor Elétrico Premium**. Rio de Janeiro, Eletrobrás, 2016.
- COELBA/ GRUPO NEOENERGIA. **Chamada Pública de Projetos REE 002/2016**. Salvador: COELBA, 2016.
- EVO – Efficiency Valuation Organization. **Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance – Conceitos e Opções para Determinação de Economias de Energia e de Água – Vol.1**. Sofia: EVO, 2012.
- VASCONCELOS, F.F. **Análise de Linhas de Financiamento para Projetos de Eficiência Energética nos Prestadores de Serviços de Saneamento Brasileiros**, 1ª Edição. Brasília: ProEESA, 2016.
- VASCONCELOS, F.F. **Manual de Tarifação de Energia Elétrica para Prestadores de Serviços de Saneamento**, 1ª Edição. Brasília: ProEESA, 2016.
- TSUTIYA, M.T. **Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água**, 1ª Edição. São Paulo: ABES, 2001.
- GOMES, Heber Pimentel et al. **Sistemas de Bombeamento – Eficiência Energética**, 1ª Edição. Editora Universitária – UFPB: João Pessoa, 2009.
- GOMES, Heber Pimentel et al. **Avaliação Econômica: eficiência energética**. Editora Universitária – UFPB: João Pessoa, 2014.
- ELEKTRO, UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ. **Eficiência Energética: Fundamentos e Aplicações**, 1ª Edição. Campinas, 2012.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **PROPEE – Procedimentos do Programa de Eficiência Energética**. Brasília: ANEEL, 2018.
- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Guia de Medição e Verificação para o Programa de Eficiência Energética Regulado pela Aneel**. Brasília: ANEEL, 2014.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15833:2010 - Manufatura reversa – Aparelhos de refrigeração**. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 50001 – Sistemas de Gestão de Energia – Requisitos com Orientação para Uso**. ABNT NBR ISO 50001:2011. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- BRASIL. **Lei 9.991** de 24 de julho de 2000 e alterações. Dispõe sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das

empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília – DF: Presidência da República, 2000.

BRASIL. **Lei 12.212** de 20 de janeiro de 2010. Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica, altera leis e dá outras providências. Brasília – DF: Presidência da República, 2010.

BRASIL. **Lei 12.305** de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília – DF: Presidência da República, 2010a.

BRASIL. **Decreto no 7.404** de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Brasília – DF: Presidência da República, 2010b.

ELETROBRAS/PROCEL. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS / PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Programa de Eficiência Energética em Novas Residências**. Análise da viabilidade para apresentação à Aneel. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2012.

ENERGISA SUL SUDESTE. **Edital de Chamada Pública de Projetos de Eficiência Energética CPP 002/2017**. Presidente Prudente, 2017

ELETROBRAS/PROCEL. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS / PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Sítio contendo informações sobre a atuação deste programa, inclusive o **Procel nas Escolas**. Disponível em: <http://www.eletrobras.com/EducacaoProcel/escolas.asp>. Acesso em: 13 abr.2012a.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sítio contendo informações sobre a atuação deste Instituto. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Acesso em: 22.maio 2012.

ICF INTERNATIONAL, PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO (PUC-RIO), JORDÃO ENGENHARIA. **Estabelecimento de requisitos mínimos de medição e verificação de resultados que possam ser aplicados aos projetos de eficiência energética desenvolvidos pelas distribuidoras**. Preparado para o Instituto “ABRADEE” da Energia, com o apoio da FUPAI. Rio de Janeiro, nov. 2011.

ANEXO I – PLANO DE M&V

O plano de M&V é elaborado no início da fase de execução do projeto de eficiência energética, quando já estão disponíveis os resultados das avaliações *ex-ante* e do período de determinação da economia (linha de base) e concluída a estratégia de M&V.

O presente capítulo é adaptado no Plano de M&V: Sistemas motrizes da ANEEL, que por sua vez, foi elaborado com base no PIMVP (EVO, 2012), PROPEE (ANEEL, 2013) e no relatório de requisitos mínimos (ICF, PUC-RIO e JORDÃO, 2011).

O plano está baseado em projeto existente do PEE, embora alguns dados tenham sido modificados. Portanto, os valores mostrados não devem ser tomados como base de cálculo (ANEEL, 2014).

Da mesma forma, as inúmeras possibilidades de ações de eficiência energética não permitem a adoção de modelos que sejam adequados a todos os casos. Portanto, o exemplo que se segue deve ser utilizado com cuidado e devidamente ajustado ao caso específico.

Recomenda-se, portanto, que o plano de M&V tenha a seguinte estrutura:

CAPA

<<LOGOMARCA DO PRESTADOR DE SERVIÇOS>>		
Plano de M&V: <<Sistemas Motrizes>>		
Tipo:	<<Sistemas motrizes>>	
Distribuidora:	<<Nome da distribuidora de energia elétrica>>	
Data:	<<dd/mm/aaaa>>	
Revisão	Motivo da Revisão	Data da Vigência
0	Emissão inicial	<<dd/mm/aaaa>>

ÍNDICE

1. Objetivo da AEE
 - Descrição da AEE
2. Opção do PIMVP e fronteira de medição
 - Variáveis independentes
 - Fronteira de medição
 - Efeitos interativos
 - Opção do PIMVP
3. Período, energia e condições de linha de base
 - Período da linha de base
 - Energia e condições da linha de base
 - Fatores estáticos
4. Período de determinação da economia
5. Bases de ajuste
6. Procedimento de análise

7. Preço da Energia
8. Especificação das medições
 - Energia
 - Variáveis independentes
9. Responsabilidade do monitoramento
10. Precisão esperada
11. Orçamento
12. Formato do Relatório de M&V
13. Garantia de qualidade
14. Tópicos da Opção A
 - Justificativa das estimativas
 - Inspeções periódicas
15. Referências

Detalhamento

1. Objetivo da AEE
 - 1.1 Descrição da AEE
 - 1.1.1 Identificação do projeto

Local	
Endereço	
Contatos	
Telefones	
E-mails	

1.1.2 Ação de eficiência energética

<<Descrever as ações de eficiência energética pertinentes. Exemplo: Este projeto consiste na instalação de inversores de frequência em motores pertencentes a um sistema de captação de água bruta. É acompanhado por ações de treinamento e conscientização dos operadores para que haja permanência das novas formas de operação dos equipamentos e práticas de uso eficientes.

Serão substituídos 2 motores de 150 cv cada por 2 motores de alto rendimento de 100 cv cada. O sistema de controle e automação tem por objetivo garantir a operação fora do horário de ponta. >>

1.1.3 Resultados esperados

<<A AEE deve propiciar a redução do consumo de energia elétrica da instalação em questão, bem como a redução de demanda no horário de ponta da distribuidora. >>

SISTEMA ATUAL			
		Motor indução	TOTAL
1	Potência do motor (cv)	200	
2	Carregamento (1)	0,83	
3	Rendimento à carga acionada (%)	0,90	
4	Quantidade	6	

SISTEMA ATUAL			
5	Potência Instalada (kW)	883,2	883,2
6	Potência média utilizada (kW)	814,5	814,5
7	Funcionamento (h/ano)	8.760	
8	FCP (fator de coincidência na ponta)	1,0	
9	Energia Consumida (MWh/ano)	7.135	7.135,1
10	Demanda média na ponta (kW)	814,5	814,5

SISTEMA PROPOSTO			
		Motor indução	TOTAL
11	Potência do motor (cv)	200	
12	Carregamento (1)	0,50	
13	Rendimento à carga acionada (%)	0,90	
14	Quantidade	6	
15	Potência Instalada (kW)	883,2	883
16	Potência média utilizada (kW)	490,7	490,7
17	Funcionamento (h/ano)	8.760	
18	FCP (fator de coincidência na ponta)	1,0	
19	Energia Consumida (MWh/ano)	4.298	4.298,2
20	Demanda média na ponta (kW)	490,7	490,7

RESULTADOS ESPERADOS			Distribuidora de energia ³⁵	Prestador de serviços ³⁶
			R\$	R\$
21	Redução de Demanda na Ponta (kW)	323,8	185.724,16	287.009,98
22	Redução de Demanda na Ponta (%)	40%		
23	Energia Economizada (MWh/ano)	2.836,8	487.820,67	753.856,70
24	Energia Economizada (%)	40%		
	TOTAL		673.544,83	1.040.866,68

1.1.4 Verificação operacional

Após a instalação dos componentes projetados, será verificado o acionamento correto dos sistemas acionados e efetuadas medições pontuais de potência e variáveis do sistema acionado para verificar a capacidade dos sistemas instalados em atender ao proposto. >>

³⁵ Economia sob a ótica da distribuidora de energia considerando os custos de CED e CEE informados nos editais de chamada pública de projetos.

³⁶ Economia sob a ótica do prestador de serviços considerando os custos de demanda e energia pagos à distribuidora de energia elétrica.

1.1.5 Alterações planejadas

<< Relatar as mudanças planejadas de equipamentos ou processo previstas para os próximos anos. >>

2. Opção do PIMVP e fronteira de medição

2.1 Variáveis independentes

<< Verificar se há uma variável independente para ser utilizada para explicar a variação da energia, por exemplo, produção de água, setor ou município considerado, vazão de bomba, etc. >>

2.2 Fronteira de medição

<< A fronteira de medição será limitada pelo circuito de alimentação dos motores, onde será instalado o analisador de energia elétrica. Citar também a localização do medidor da variável independente considerada. >>

2.3 Efeitos interativos

<< Menor calor despreendido pelos motores e menor consumo nos circuitos a montante do circuito do motor serão ignorados. Por outro lado, foi acrescentado um sistema de refrigeração nos quadros dos inversores, cuja energia consumida foi estimada com base nos seus valores nominais: 994 W, com funcionamento contínuo (24 h/dia, 7 dias/semana).>>

2.4 Opção do PIMVP

<< Serão adotadas as seguintes opções para determinação das economias:

- Consumo de energia: Opção B – Medição isolada de todos os parâmetros
- RDP: Opção A – Medição isolada dos parâmetros chave

Ambas opções estão de acordo com o Volume I do PIMVP, EVO 10000-1:2012. Estas Opções se justificam porque a determinação das economias será feita a curto prazo, no âmbito de cada projeto, para ser viável economicamente. A extrapolação destas economias para o longo prazo será feita através de estudos específicos. O processo terá a seguinte definição de parâmetros:

- Energia – será medida por tempo suficiente para caracterizar um ciclo completo de funcionamento dos equipamentos.
- Demanda na ponta – como o sistema tem funcionamento praticamente contínuo, a demanda na ponta será estimada como a média de potência medida nos dias úteis.

3. Período, energia e condições de linha de base

3.1 Período da linha de base

<< O período da linha de base foi o mostrado abaixo, onde se mediu a energia consumida pelos motores selecionados (total e no horário de ponta). >>

Período da linha de base	Motores	
	Datas	Início
	Término	<<dd/mm/aaaa>>

3.2 Energia e condições da linha de base

<< Os dados medidos encontram-se na planilha em apêndice³⁷. Apresentam-se aqui os resultados mais importantes para a determinação da economia. >>

3.2.1 Amostras

<< Foram medidos 6 motores (100% do total) durante períodos de 6 a 9 dias, totalizando 46 períodos de medição válidos. >>

3.2.2 Energia medida

<< Abaixo as medições de energia realizadas: >>

Ponto	Dia	kW	t
3	10/12/2009	2.438	1.021
3	11/12/2009	3.128	1.054
3	12/12/2009	3.108	1.073
3	13/12/2009	3.087	1.147
3	14/12/2009	2.960	1.093
3	15/12/2009	1.809	979
3	16/12/2009	2.682	990
3	17/12/2009	2.316	949
4	19/12/2009	3.422	897
4	20/12/2009	3.449	387
4	21/12/2009	2.658	258
4	22/12/2009	3.038	414
4	23/12/2009	3.432	759
4	24/12/2009	3.443	743
4	25/12/2009	3.465	947
4	26/12/2009	3.419	959
4	27/12/2009	3.412	959
5	29/12/2009	3.347	748
5	30/12/2009	3.476	752
5	31/12/2009	3.514	851
5	01/01/2010	3.454	1.020
5	02/01/2010	3.410	1.034
5	03/01/2010	3.383	1.015
5	04/01/2010	2.922	936
5	05/01/2010	3.141	1.032
5	06/01/2010	3.164	1.074
6	02/12/2009	3.440	1.014
6	03/12/2009	3.460	995

³⁷ Recomenda-se apresentar no corpo do plano de M&V os dados mais importantes para a compreensão do comportamento do sistema que receberá as ações de eficiência energética. Relatórios mais completos podem informados em apêndices.

Ponto	Dia	kW	t
6	04/12/2009	3.301	1.030
6	05/12/2009	3.532	1.011
6	06/12/2009	3.573	964
6	07/12/2009	3.516	449
6	08/12/2009	3.497	1.067
7	24/11/2009	3.572	1.061
7	25/11/2009	3.454	926
7	26/11/2009	3.361	1.080
7	27/11/2009	3.414	1.112
7	28/11/2009	3.422	1.010
7	29/11/2009	3.481	869
7	30/11/2009	3.477	1.238
8	17/11/2009	3.437	1.039
8	18/11/2009	3.386	1.036
8	19/11/2009	3.342	1.049
8	20/11/2009	2.949	926
8	21/11/2009	3.091	1.041
8	22/11/2009	2.969	1.019

<< A análise estatística da medição está apresentada abaixo: >>

Energia	Motores	
Média	3.234	kWh/dia
Desvio padrão	365,6	kWh/dia
CV	11%	
Erro padrão	53,9	kWh/dia
Incerteza	108,6	kWh/dia
	3%	

3.2.3 Demanda

<< As medições no horário de ponta apresentaram os resultados abaixo: >>

Ponto	Dia	Útil	kW pta
3	10/12/2009	Útil	102
3	11/12/2009	Útil	130
3	12/12/2009	Não útil	
3	13/12/2009	Não útil	
3	14/12/2009	Útil	123
3	15/12/2009	Útil	75
3	16/12/2009	Útil	112
3	17/12/2009	Útil	97
4	19/12/2009	Não útil	

Ponto	Dia	Útil	kW pta
4	20/12/2009	Não útil	
4	21/12/2009	Útil	111
4	22/12/2009	Útil	127
4	23/12/2009	Útil	143
4	24/12/2009	Útil	143
4	25/12/2009	Útil	144
4	26/12/2009	Não útil	
4	27/12/2009	Não útil	
5	29/12/2009	Útil	139
5	30/12/2009	Útil	145
5	31/12/2009	Útil	146
5	01/01/2010	Não útil	
5	02/01/2010	Não útil	
5	03/01/2010	Não útil	
5	04/01/2010	Útil	122
5	05/01/2010	Útil	131
5	06/01/2010	Útil	132
6	02/12/2009	Útil	143
6	03/12/2009	Útil	144
6	04/12/2009	Útil	138
6	05/12/2009	Não útil	
6	06/12/2009	Não útil	
6	07/12/2009	Útil	147
6	08/12/2009	Útil	146
7	24/11/2009	Útil	149
7	25/11/2009	Útil	144
7	26/11/2009	Útil	140
7	27/11/2009	Útil	142
7	28/11/2009	Não útil	
7	29/11/2009	Não útil	
7	30/11/2009	Útil	145
8	17/11/2009	Útil	143
8	18/11/2009	Útil	141
8	19/11/2009	Útil	139
8	20/11/2009	Útil	123
8	21/11/2009	Não útil	
8	22/11/2009	Não útil	

<< A análise estatística está apresentada abaixo: >>

Demanda na ponta	Motores	
Média	132	kW
Desvio padrão	17	kW
CV	13%	
Erro padrão	2,6	kW
Incerteza	5,2	kW
	4%	

3.3 Fatores estáticos

<< Qualquer mudança no sistema de captação, como regime de funcionamento, leiaute dos equipamentos, tipo e limpeza dos filtros, etc. Também o tipo de produto processado pode ser considerados fatores estáticos. Levantar as variáveis que possam vir a influir no consumo de energia caso sejam alterada e anexar documento com os fatores estáticos envolvidos, incluindo fotos. >>

4. Período de determinação da economia

<< O período de determinação da economia se inicia logo após a troca dos motores e acessórios e deve igualmente varrer um ciclo completo de funcionamento. >>

5. Bases de ajuste

<< Informar os possíveis ajustes a serem realizados em função das variáveis independentes, se existentes. >>

6. Procedimento de análise

<< A economia de energia e a redução de demanda na ponta serão calculadas por meio das seguintes equações: >>

$$\text{Economia} = \text{Consumo da linha de base} - \text{Consumo do período de determinação da economia}$$

$$\text{Economia} = \text{Demanda da linha de base} - \text{Demanda do período de determinação da economia}$$

<< O consumo estimado do sistema de refrigeração será adicionado ao consumo do período de determinação da economia. >>

7. Preço da Energia

<< Os preços da energia e demanda da distribuidora foram extraídos do edital de chamada pública da distribuidora – informar o nº do edital – ao passo que os preços pagos pelo prestador de serviços foram extraídos do contrato de fornecimento de energia nº - informar o nº do contrato, cujos valores são apresentados na tabela abaixo: >>

Valores adotados			Distribuidora de energia	Prestador de serviços
CEE	Custo Unitário Evitado de Energia	R\$/MWh	171,96	265,74
CED	Custo Unitário Evitado de Demanda	R\$/kW-ano	573,51	886,27

8. Especificação das medições

8.1 Energia

8.1.1 Período de linha de base

<< Foi medida a energia consumida pelos motores em intervalos diários. >>

8.1.2 Período de determinação da economia

<< Será feito igual procedimento após a troca e verificação operacional (item Energia/Período de linha de base desse plano de M&V), considerada adequada, dos motores e acessórios. >>

8.1.3 Medidores

Medição de energia	Motores		
Medidor	Fabricante	<<nome do fabricante>>	
	Modelo/N° de série	<<modelo, n° de série e outras informações que identifiquem o medidor>>	
Última calibração	Data	<<dd/mm/aaaa>>	
	Validade	<<dd/mm/aaaa>>	
	Laboratório	<<nome do laboratório que realizou a última aferição >>	
	Laudo	<<n° do laudo de aferição>>	
	%VM	dms	Valor dms
Precisão medidor	1%	2	0,01
Erro padrão		16,5	kWh/dia
Incerteza		33,25	kWh/dia
		1,0%	

8.2 Variáveis independentes

8.2.1 Período da linha de base

<< Foram medidos o volume bombeado em m³ durante o mesmo período de medição das grandezas elétricas >>

<< Indicar o medidor usado e suas características, ainda que seja um medidor já incorporado ao processo e usado para outros fins. >>

8.2.2 Período de determinação da economia

<< Será realizado o mesmo procedimento do período da linha de base. >>

8.2.3 Medidores

<< A medição é feita rotineiramente pela operação³⁸. >>

9. Responsabilidade do monitoramento

Responsável	
-------------	--

10. Precisão esperada

<< Todas as incertezas relativas aos processos de amostragem, medição e modelagem deverão ficar abaixo de 10% a 95% de confiabilidade. >>

<< No período da linha de base, os seguintes dados foram obtidos: >>

Energia da linha de base	Motores	
Valor médio	19.402	kWh/dia
Erro padrão medição	99,1	kWh/dia
Incerteza medição	1,0%	kWh/dia
Erro padrão amostragem	323,5	kWh/dia
Incerteza amostragem	3%	kWh/dia
Erro padrão modelagem	369,6	kWh/dia
Incerteza modelagem	23%	kWh/dia
Erro padrão total	323,5	kWh/dia
Incerteza total	651,5	kWh/dia
	3%	

Demanda da linha de base	Motores	
Valor médio	808,4	kW
Erro padrão medição	99,1	kW
Incerteza medição	1,0%	kW
Erro padrão amostragem	13,5	kW
Incerteza amostragem	3%	kW
Erro padrão total	13,5	kW
Incerteza total	27,1	kW
	3%	

Orçamento da medição e verificação

	Previsto
PEE	43.086,58

³⁸ Mesmo que a medição seja feita por processo já instalado, devem ser anotadas as características dos medidores e obtenção dos dados.

Contrapartida	-
Total	53.858,22

11. Formato do Relatório de M&V

O relatório de M&V deve conter os seguintes tópicos:

- Dados observados durante o período de determinação da economia
- Datas do período de medição
- Dados de energia e demanda
- Valor das variáveis independentes
- Valor do coeficiente de determinação (R²), quando houver modelo do período de referência
- Para amostragens: tamanho da amostra, precisão (e) e coeficiente de variação (cv) obtidos
- Precisão dos instrumentos utilizados
- Descrição e justificativa de quaisquer correções feitas aos dados observados
- Valores estimados acordados
- Valores da energia e demanda utilizados
- Desvio eventual das condições apresentadas no Plano de M&V
- Apresentar cálculos de engenharia que fizeram o ajuste às novas condições
- Economia calculada em unidades de energia (MWh/ano) e demanda (kW)
- Desvio observado em relação à avaliação ex ante.

12. Garantia de qualidade

Os resultados de medição devem ser comparados com os valores previstos, assim como verificados os períodos de medição.

Os campos da planilha em apêndice devem ser verificados por profissionais treinados e não envolvidos diretamente com o projeto para garantir que estão conformes. Discrepâncias de valores com os previstos (guia **Ex ante**) de mais de 10% devem ser conferidas e justificadas.

13. Tópicos da Opção A (se utilizada essa opção)

13.1 Justificativa das estimativas

<< Como o funcionamento do sistema é praticamente constante, a demanda na ponta foi assumida como igual à média diária nos dias úteis. >>

13.2 Inspeções periódicas

<< As inspeções periódicas serão feitas por meio de estudos de longo prazo para se avaliar a persistência das AEEs. >>

ANEXO II - Exemplos de cálculo de RCB

Considerando três seguintes ações de eficiência energética no âmbito de iluminação, estação elevatória de água e controle de pressões se calcula passo a passo para o a Relação Custo Benefício das ações individuais e do conjunto de ações como um único projeto.

Os custos das três ações têm os seguintes valores:

Tabela 22 – Custos de três ações de eficiência energética

	EQUIPAMENTOS (R\$)	OUTROS CUSTOS (R\$)	TOTAL (R\$)
Iluminação	27.691,98	2.782,82	30.474,80
Moto Bomba	773.471,98	77.727,72	851.199,70
Controle de Pressões	324.000,00	32.559,40	356.559,40

RCB de ação individual troca de iluminação

Nesta ação se substituem 40 lâmpadas de vapor de sódio pela mesma quantidade de luminárias LED, considerando as seguintes características:

- Potência da lâmpada de vapor de sódio existente: 150 W
- Potência do reator existente: 15 W
- Potência da luminária LED proposta: 75 W

As lâmpadas funcionam diariamente por um período de 12 h, sendo que 2 h diárias coincidem com o horário de ponta definido pela distribuidora de energia. Considere ainda uma vida útil de 60.000 h³⁹.

Os custos totais com equipamentos e mão de obra de substituição somam R\$ 27.691,98, entretanto, outros custos para a realização de um projeto de eficiência energética são necessários a título de marketing, medição e verificação, custos administrativos, etc. e somam a quantia R\$ 2.782,82. Dessa forma, o custo total dessa ação é de R\$ 30.474,80.

Cálculo de energia e demanda no sistema atual

Energia consumida pelo sistema atual de iluminação em MWh/ano:

Potência da lâmpada: 150 W

Potência do reator: 15 W

Potência total= 165 W

Quantidade de conjuntos Lâmpada+Reator= 40 unidades

Tempo de utilização: 12 h/dia

$E = \text{Quantidade} \times \text{Potência total} \times \text{Tempo de utilização} \times 365 / 10^6 \text{ MWh}$

$E_1 = 28,91 \text{ MWh/ano}$

Demanda de ponta do sistema atual de iluminação em kW

³⁹ Algumas distribuidoras de energia limitam a vida útil do equipamento, mesmo que comprovado em catálogo valor maior. Atentar para estes casos utilizando o valor limite na eventualidade do catálogo ser superior, caso contrário considere o de catálogo.

O Fator de Coincidência na Ponta - FCP é o fator que considera a relação (a/b) sendo (a) as horas de utilização do equipamento ou sistema no qual se efetivará a eficiência energética em um ano e (b) o número máximo de horas no período de ponta em um ano.

FCP: Fator de Coincidência na Ponta (indica a relação entre a quantidade de equipamentos que operam no horário de ponta e a quantidade total de equipamentos): Nesse caso 100% das lâmpadas operam na Ponta, porém não no intervalo de 3h/dia na ponta e sim de 2h/dia, logo $FCP = 0,67$.

$DEMANDA = Quantidade \times Potência\ total \times FCP / 10^3\ kW$

$DEMANDA_1 = 4,4\ kW$

Cálculo de energia e demanda no sistema proposto

Energia consumida pelo novo sistema de iluminação em MWh/ano

Potência da lâmpada: 75 watts

Quantidade de Luminárias = 40 unidades

Tempo de utilização: 12 h/dia

$E = Quantidade \times Potência\ total \times Tempo\ de\ utilização \times 365 / 10^6\ MWh$

$E_2 = 13,14\ MWh/ano$

Demanda de ponta do novo sistema de iluminação em kW

$FCP = 0,67$

$DEMANDA = Quantidade \times Potência\ total \times FCP / 10^3\ kW$

$DEMANDA_2 = 2,0\ kW$

Energia Economizada (EE)

$EE = E_1 - E_2$

$EE = 15,77\ MWh/ano$

Redução de Demanda na Ponta (RDP)

$RDP = DEMANDA_1 - DEMANDA_2$

$RDP = 2,4\ kW$

Cálculo do fator de recuperação de capital

Vida Útil das Lâmpadas:

Vida útil em horas = 60.000 h

Tempo de utilização diária da luminária em horas = 12 h

Vida útil em anos = vida útil em horas/tempo de utilização diária/365

Vida útil = $u = 13,7$ anos

Taxa de Desconto = $i = 8\%$ a.a.

$FRC = \text{Fator de recuperação de Capital} = \frac{i \cdot (1+i)^u}{(1+i)^u - 1}$

$FRC = 0,12278$

Cálculo do custo anualizado

CE_n = Custo dos equipamentos da ação individual = R\$27.691,98

CT = Custo total do projeto = R\$1.238.233,90

CE_T = Custo total com equipamentos (todas as ações) = R\$1.125.163,96

FRC = 0,12278 (do equipamento da ação individual)

$$CA_n = CE_n \times \frac{CT}{CE_T} \times FRC_u$$

CA = $27.691,98 \times 1.238.233,90 / 1.125.163,96 \times 0,12278$

$CA = \underline{R\$3.741,70}$

Cálculo do benefício anualizado

EE = Energia Economizada = 15,77 MWh/ano

RDP = Demanda evitada na ponta = $RDP = \underline{2,4}$ kW

BA_T = Cálculo do benefício anualizado = $(EE \times CEE) + (RDP \times CED)$

CEE : 295,17 R\$/MWh.ano

CED : 484,34 R\$/kW

Os valores de CEE e CED são informados pela distribuidora nos editais de CPP. Importante atentar para a escolha correta, pois depende da categoria tarifária da unidade consumidora recebedora das ações.

$BA_T = \underline{R\$5.8817,25}$

Cálculo do RCB – Iluminação

Custo Anualizado: $CA = \underline{R\$3.741,70}$

Benefício Anualizado: $BA_T = \underline{R\$ 5.817,25}$

$$RCB = \frac{CA}{BA_T}$$

$RCB = \underline{0,64}$

A relação custo benefício dessa ação de eficiência energética é inferior ao limite estabelecido. Mesmo que fosse superior ao limite, ainda assim o projeto pode ser viável, desde que a RCB global, considerando as contribuições de todas as ações, seja inferior ao limite.

RCB de ação individual de troca de conjunto motobomba

Nesta ação é trocado o conjunto motobomba por um de alto rendimento e é instalado um inversor de frequência. Os equipamentos e a ação têm as seguintes características:

- Vida Útil Equipamento: 15 anos
- Tempo de Utilização: 19 h
- Tempo de Utilização na ponta: 3h
- Energia Economizada: 1.411,86 MWh/ano
- Redução de Demanda na Ponta: 64,63 kW
- Custo Total em Equipamentos: R\$ 773.471,98
- Outros Custos: R\$77.727,72
- Total: R\$ 851.199,70

Cálculo do fator de recuperação de capital

Fator de recuperação de Capital

Vida Útil = $u = 15$ anos

Taxa de Desconto = $i = 8\%$ a.a.

$$FRC = \frac{i \cdot (1+i)^u}{(1+i)^u - 1}$$

$$FRC = \underline{\underline{0,11683}}$$

Cálculo do custo anualizado

CE_n = Custo dos equipamentos da ação individual = R\$773.471,98

CT = Custo total do projeto = R\$1.238.233,90

CE_T = Custo total com equipamentos (todas as ações) = R\$1.125.163,96

$FRC = 0,11683$ (do equipamento da ação individual)

$$CA_n = CE_n \times \frac{CT}{CE_T} \times FRC_u$$

$$CA = 773.471,98 \times 1.238.233,90 / 1.125.163,96 \times 0,11683$$

$$CA = \underline{\underline{R\$99.445,66}}$$

Cálculo do benefício anualizado

EE = Energia Economizada = 1.411,86 MWh/ano

RDP = Demanda evitada na ponta = $RDP = 64,63$ kW

$BA_T = (EE \times CEE) + (RDP \times CED)$

CEE = Custo evitado de energia: 295,17 R\$/MWh.ano

CED = Custo evitado de demanda: 484,34 R\$/kW

Os valores de CEE e CED são informados pela distribuidora nos editais das chamadas públicas de projetos. Importante atentar para a escolha correta, pois depende da categoria tarifária da unidade consumidora recebedora das ações.

$$BA_T = \underline{\underline{R\$448.041,61}}$$

Cálculo do RCB – troca de conjunto motobomba e instalação de inversor

Custo Anualizado: $CA = R\$99.445,66$

Benefício Anualizado: $BA_T = R\$448.041,61$

$$RCB = \frac{CA}{BA_T}$$

$$RCB = \underline{\underline{0,22}}$$

Esse valor de RCB muito contribui para a RCB final do projeto, pois conduz a média para valores menores.

RCB de ação individual de redução de pressão

Nesta ação é reduzida a pressão de abastecimento que conduz à redução de perdas reais de água. A ação tem as seguintes características e impactos:

- Redução de perdas: 1.912 m³/dia
- kWh/m³ = 0,54
- Energia Economizada = 376,85 MWh/ano
- RDP = 0,0
- Custo total com equipamentos: R\$ 324.000,00
- Outros Custos: R\$ 32.559,39
- Total: R\$ 356.559,39
- Vida útil das ações de redução de pressão: 10 anos

Cálculo do fator de recuperação de capital

Vida Útil = u = 10 anos

Taxa de Desconto = i = 8% a.a.

$$FRC = \frac{i \cdot (1+i)^u}{(1+i)^u - 1}$$

$$FRC = \underline{\underline{0,14902}}$$

Cálculo do custo anualizado

CE_n = Custo dos equipamentos da ação individual = R\$324.000,00

CT = Custo total do projeto = R\$1.238.233,90

CE_T = Custo total com equipamentos (todas as ações) = R\$1.125.163,96

FRC = 0,14902 (do equipamento da ação individual)

$$CA_n = CE_n \times \frac{CT}{CE_T} \times FRC_u$$

$$CA = 324.000,00 \times 1.238.233,90 / 1.125.163,96 \times 0,14902$$

$$CA = \underline{\underline{R\$ 53.134,48}}$$

Cálculo do benefício anualizado

EE = Energia Economizada = 376,85 MWh/ano

RDP = Demanda evitada na ponta = RDP = 0,0 kW

BA_T = (EE × CEE) + (RDP × CED)

CEE: 295,17 R\$/MWh.ano

CED: 484,34 R\$/kW

Os valores de CEE e CED são informados pela distribuidora nos editais de CPP. Importante atentar para a escolha correta, pois depende da categoria tarifária da unidade consumidora recebedora das ações.

$$BA_T = \underline{\underline{R\$ 111.234,81}}$$

Cálculo do RCB – redução de pressão

Custo Anualizado: CA = R\$53.134,48

Benefício Anualizado: BA_T = R\$ 111.234,81

$$RCB = \frac{CA}{BA_T}$$

$$RCB = \underline{\underline{0,48}}$$

Nota-se que as RCBs de todas as ações desse exemplo são inferiores aos limites estabelecidos (0,8).

RCB global – conjunto das ações de eficiência energética

Se calcularam as RCBs individualmente, porque os benefícios dependem do tempo de vida útil dos equipamentos que variam para cada tipo.

Após anualizar tanto os custos quanto os benefícios é possível juntar todas as ações em um só projeto e calcular a RCB do conjunto de ações:

Cálculo do RCB – conjunto de medidas

Custos Anualizados:

CA = R\$3.741,70 (Iluminação)

CA = R\$99.445,66 (moto bomba e inversor)

CA = R\$53.134,48 (controle de pressão)

CA = R\$156.321,84 (projeto completo)

Benefícios Anualizados:

BA_T = R\$ 5.817,25 (Iluminação)

BA_T = R\$448.041,61 (moto bomba e inversor)

BA_T = R\$ 111.234,81 (controle de pressão)

BA_T = R\$565.672,19 (projeto completo)

$$RCB = \frac{CA}{BA_T} = \frac{3.741,70 + 99.445,66 + 53.134,48 + 156.321,84}{5.817,25 + 448.041,91 + 111.234,81 + 565.672,19}$$

$$RCB = \underline{0,27}$$

A RCB final do projeto foi bastante favorecida pela RCB da ação de troca do conjunto motobomba. É um valor final bastante relevante tendo em vista que a RCB é o quesito de maior pontuação no processo de seleção de projetos em chamadas públicas das distribuidoras de energia elétrica.

ANEXO III - ESTUDOS DE CASOS

Neste anexo são apresentados 3 estudos de casos de projetos de eficiência energética em sistemas de saneamento,

O primeiro caso se refere a um exercício de cálculo de energia e demanda evitada de uma ação de redução de perdas físicas de água, redigido a partir de dados obtidos do livro *Perdas de Água – Tecnologias de Controle* (BEZERRA, *et al*, 2013). nos quais foram aplicados os conceitos deste guia.

O segundo caso é um projeto submetido pelo Daev – Departamento de Águas e Esgoto de Valinhos, no estado de São Paulo à chamada pública CPP-001/2016 da CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz. O projeto em questão incide na substituição de lâmpadas por LED e a redução dos tempos de reparação de vazamentos e substituição de ar condicionado.

O terceiro caso trata-se um projeto submetido pela Saneago – Saneamento de Goiás S.A. à chamada pública CPP-001/2015 da Celg Distribuição S.A relativamente à instalação de inversores de frequência em uma estação elevatória.

Os projetos reais são extensos, pelo que apenas foram extraídos elementos que se consideram mais exemplificativos. Se omitiu informações sobre custos e cronogramas entre outros, mas em alguns momentos se evidenciou mais os cálculos do que estavam no relatório do projeto, apenas disponíveis nas palhinhas de Excel, anexos aos projetos.

Os projetos não seguem uma estrutura coincidente, no entanto cobrem os requisitos do PEE. A estrutura varia conforme a composição dos projetos.

Estudo de caso – Redução de perdas de água

Enquadramento

Do livro *Perdas de Água – Tecnologias de Controle* (BEZERRA, *et al*, 2013), extraíram-se os dados para o desenvolvimento deste caso com o objetivo de aplicar as diretrizes deste manual nos termos do PEE ANEEL:

Considerando um programa para a redução das perdas reais (físicas) de água de 10% do volume bombeado por um determinado sistema, são determinadas as economias de energia e demanda.

Dados de base:

- População atendida: 100.000 habitantes;
- Vazão média de água bruta bombeada pelo sistema = 0,29 m³/s;
- Consumo per capita médio da população = 170 L/hab./dia.
- Vazão estimada para chafarizes, lavagem de filtros, irrigação de praças e jardins e para o atendimento de hospitais públicos = 0,02 m³/s;
- Rendimento da bomba = 80%;
- Rendimento do motor = 85%;
- Potência do motor = 300 cv; e
- Altura manométrica = 50 m.

Cálculo de economia de água:

- Volume de água consumido pela população (média mensal)
$$V = \text{População} * \text{Consumo per capita/dia} * 30$$

$$V = 100.000 * 170 * 30 = 510.000 \text{ m}^3$$

- Vazão média demandada pela população

$$Q = V/(30 * 86.400) = 510.000/(30 * 86.400) = 0,196 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Perdas reais - As perdas reais equivalem à vazão média bombeada pelo sistema menos a vazão média demandada menos a demanda de água utilizada em chafarizes, lavagem de filtros, irrigação de praças e jardins e hospitais públicos.

$$\text{Perdas reais} = 0,29 - (0,196 + 0,02) = 0,077 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Redução consumo esperada:

$$\text{Meta de perdas reais} = \text{Vazão bombeada} * 10\%$$

$$\text{Meta de perdas reais} = 0,29 * 0,10$$

$$\text{Meta de perdas reais} = 0,029 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Vazão economizada} = \text{perdas reais} - \text{meta de perdas reais} = 0,077 - 0,029$$

$$\text{Vazão economizada} = 0,048 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Volume economizado} = \text{vazão economizada} * 30 * 86.400 =$$

$$\text{Volume economizado} = 0,048 * 30 * 86.400$$

$$\text{Volume economizado} = 124.416 \text{ m}^3/\text{mês}$$

Os projetistas devem atentar para a elaboração de projetos conservadores do ponto de vista da relação custo benefício. Para a definição da redução de perdas esperadas, há que se levar em consideração possíveis depreciações das ações de economia e equipamentos associados durante o período de vida útil dessas ações.

Situação atual

No motor onde ocorre a elevação de água são mensuráveis os benefícios do programa de redução de perdas. O motor é único e possui uma potência nominal de 300 cv. O projeto de eficiência energética tem, portanto, apenas um sistema.

1. Potência nominal do motor (cv): $p_{a1} = 300 \text{ cv}$
2. Carregamento:

Cálculo da potência requerida:

$$\text{Potência Requerida} = \frac{9,81 * Q * H}{\eta} (\text{kW})$$

Q = vazão média requerida (m^3/s)

H = Altura manométrica (m)

η = Rendimento da bomba

$$\text{Potência Requerida} = \frac{9,81 * 0,29 * 50}{0,80} (\text{kW}) = 177,81 \text{ kW}$$

Cálculo do carregamento:

$$\text{Carregamento} = \frac{\text{Potência Requerida (kW)}}{\text{Potência Nominal (kW)}}$$

$$\text{Carregamento} = \frac{177,81}{(300 * 0,736)} = 0,8053$$

3. Rendimento nominal (%): 85% (dado de placa)

3. a) Rendimento no ponto de carregamento (%): 87,5% (dado de catálogo)

Conforme na a curva de rendimento x carregamento o motor opera com os melhores rendimentos para carregamentos entre 75% e 100% da capacidade nominal.

No caso em estudo o carregamento do motor é de 80,53%, portanto, ele opera em condições ideais. Para esse exemplo, vamos considerar o rendimento no ponto de carregamento ligeiramente acima do rendimento nominal, ou seja, 87,5%.

4. Quantidade: 1 unidade

5. Potência instalada (kW):

$$P_{a1} = \frac{p_{a1} * 0,736 * q_{a1}}{\eta_{na1}}$$

$$P_{a1} = \frac{(Pa1 = (300 * 0,736 * 1))}{0,85}$$

$$P_{a1} = 259,76 \text{ kW}$$

6. Potência média utilizada (kW): é a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia considerando o carregamento médio do motor, que por sua vez foi calculado a partir da vazão média requerida.

$$Pu_{a1} = P_{a1} * \gamma_{a1} * \frac{\eta_{na1}}{\eta_{a1}}$$

$$Pu_{a1} = \frac{259,76 * 0,8053 * 85}{87,5} = 203,21 \text{ kW}$$

7. Funcionamento (h/ano): 8.760 horas

8. FCP (fator de coincidência na ponta): 1

9. Energia consumida (MWh/ano): é a energia total consumida em um ano considerando a potência média utilizada pelo sistema e o tempo de funcionamento informados nos itens 6 e 7.

$$E_{a1} = \frac{Pu_{a1} * h_{a1}}{1000}$$

$$E_{a1} = \frac{203,21 * 8760}{1000}$$

$$E_{a1} = 1.780,1196 \frac{\text{MWh}}{\text{ano}}$$

10. Demanda média na ponta (kW): é a demanda média requerida pelo sistema considerando a potência média utilizada e o fator de coincidência na ponta informados nos itens 6 e 8.

$$D_{a1} = Pu_{a1} * FCP_{a1}$$

$$D_{a1} = 203,21 * 1 = 203,21 \text{ kW}$$

Tabela 23 – Resumo das informações do sistema antes das medidas de eficiência

SISTEMA ATUAL				
		Sistema 1	TOTAL	
1	Potência nominal do motor (cv)	p_{a1}	300	300
2	Carregamento	γ_{a1}	0,8053	0,8053
3	Rendimento nominal (%)	η_{na1}	85	85
3a	Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{a1}	87,5	87,5
4	Quantidade	q_{a1}	1	1
5	Potência instalada (kW)	$P_{a1} = \frac{p_{a1} * 0,736 * q_{a1} a}{\eta_{na1}}$	259,76	259,76
6	Potência média utilizada (kW)	$Pu_{a1} = Pa_1 * \gamma_{a1} * \frac{\eta_{na1}}{\eta_{a1}}$	203,21	203,21
7	Funcionamento (h/ano)	h_{a1}	8.760	8.760
8	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{a1}	1	1
9	Energia consumida (MWh/ano)	$E_{a1} = \frac{Pu_{a1} * h_{a1}}{1000}$	1.780,20	1.780,20
10	Demanda média na ponta (kW)	$D_{a1} = Pu_{a1} * FCP_{a1}$	203,21	203,21

Situação proposta

Pretende-se com as ações de redução de perdas uma economia média de 0,048 m³/s. Portanto, espera-se que a vazão média bombeada seja reduzida de 0,29 m³/s para 0,242 m³/s.

11. Potência nominal do motor (cv): $p_{a1} = 300 \text{ cv}$

12. Carregamento:

Cálculo da potência requerida:

$$\text{Potência Requerida} = \frac{9,81 * Q * H}{\eta} \text{ (kW)}$$

Q = vazão média requerida (m³/s)

H = Altura manométrica (m) (soma entre o desnível e a perda de carga)

η = Rendimento da bomba

$$\text{Potência Requerida} = \frac{9,81 * 0,242 * 50}{0,80} = 148,37 \text{ kW}$$

Cálculo do carregamento:

$$\text{Carregamento} = \frac{\text{Potência Requerida (kW)}}{\text{Potência Nominal (kW)}}$$

$$\text{Carregamento} = \frac{148,37 \text{ (kW)}}{300 * 0,736 \text{ (kW)}} = 0,6720$$

13. Rendimento nominal (%): 85% (dado de placa)

13.a) Rendimento no ponto de carregamento (%): 82,5% (dado de catálogo)

Conforme curva de rendimento x carregamento que o motor opera com os melhores rendimentos para carregamentos entre 75% e 100% da capacidade nominal.

No caso em estudo o carregamento do motor, após a redução das perdas, é de 67,20%, portanto, ele não mais opera em condições ideais. Portanto, uma substituição do motor deve ser considerada. Para esse exemplo, vamos manter o motor existente e considerar o rendimento no ponto de carregamento ligeiramente abaixo do rendimento nominal, ou seja, 82,5%.

14. Quantidade: 1

15. Potência instalada (kW):

$$p_{p1} = \frac{p_{a1} * 0,736 * q_{a1}}{\eta_{na1}}$$

$$P_{p1} = \frac{300 * 0,736 * 1}{0,85}$$

$$P_{p1} = 259,76 \text{ kW}$$

16. Potência média utilizada (kW): é a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia considerando o carregamento médio do motor, que por sua vez foi calculado a partir da vazão média requerida.

$$Pu_{p1} = P_{p1} * \gamma_{p1} * \frac{\eta_{np1}}{\eta_{p1}}$$

$$Pu_{p1} = \frac{259,76 * 0,6720 * 85}{82,5} = 179,85 \text{ kW}$$

17. Funcionamento (h/ano): 8.760 horas

18. FCP (fator de coincidência na ponta): 1

19. Energia consumida (MWh/ano): é a energia total consumida em um ano considerando a potência média utilizada pelo sistema e o tempo de funcionamento informados

$$E_{p1} = \frac{Pu_{p1} * h_{p1}}{1000}$$

$$E_{p1} = \frac{179,85 * 8760}{1000}$$

$$E_{p1} = 1.575,486 \text{ MWh/ano}$$

20. Demanda média na ponta (kW): é a demanda média requerida pelo sistema considerando a potência média utilizada e o fator de coincidência na ponta.

$$D_{p1} = Pu_{p1} * FCP_{p1}$$

$$D_{p1} = 179,85 * 1 = 179,85 \text{ kW}$$

Tabela 24 – Resumo das informações do sistema após as medidas de eficiência

SISTEMA PROPOSTO	
Sistema 1	TOTAL

11	Potência nominal do motor (cv)	p_{p1}	300	300
12	Carregamento (1)	γ_{p1}	0,6720	0,6720
13	Rendimento nominal (%)	η_{np1}	85	85
13a	Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{p1}	82,5	82,5
14	Quantidade	q_{p1}	1	1
15	Potência instalada (kW)	$P_{p1} = \frac{p_{p1} * 0,736 * q_{p1}}{\eta_{np1}}$	259,76	259,76
16	Potência média utilizada (kW)	$Pu_{p1} = P_{p1} * \gamma_{p1} * \frac{\eta_{np1}}{\eta_{p1}}$	179,85	179,85
17	Funcionamento (h/ano)	h_{pi}	8.760	8.760
18	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{pi}	1	1
19	Energia consumida (MWh/ano)	$E_{p1} = \frac{Pu_{p1} * h_{p1}}{1000}$	1.575,486	1.575,486
20	Demanda média na ponta (kW)	$D_{p1} = Pu_{p1} * FCP_{p1}$	179,85	179,85

Resultados esperados

21. Redução de demanda na ponta

$$RDP_1 = 203,21 - 179,85 = 23,36 \text{ kW}$$

$$RDP (\%) = 23,36/203,21 = 11,50\%$$

22. Energia economizada

$$EE = 1.780,20 - 1.575,486 = 204,714 \text{ MWh/ano}$$

$$EE (\%) = 204,714/1780,20 = 11,50\%$$

Tabela 25 – Resumo de resultados esperados

RESULTADOS ESPERADOS				
			Sistema 1	TOTAL
21	Redução de demanda na ponta (kW)	$RDP_i = D_{ai} - D_{pi}$	23,36	23,36
22	Redução de demanda na ponta (%)	$RDP\% = \frac{RDP_i}{D_{ai}} * 100$	11,50	11,50
23	Energia economizada (MWh/ano)	$EE_i = E_{ai} - E_{pi}$	204,714	204,714
24	Energia economizada (%)	$EE\% = \frac{EE_i}{E_{ai}} * 100$	11,50	11,50

Recomendação para Plano de M&V

O plano de MV depende muito do tipo de ação do programa de controle de perdas (reabilitação de ramais e rede, redução de pressão, redução do tempo de reparação). Pode ser consultado em no capítulo 4.3 - Especificidades de M&V em projetos de saneamento nos itens vi), vii) e viii).

Estudo de Caso DAEV – Iluminação, ar-condicionado e sistema de gestão de reparação de vazamentos – redução de perdas de água

Enquadramento

Este projeto foi submetido pelo DAEV – Departamento de Águas e Esgoto de Valinhos à chamada pública CPP-001/2016 da CPFL Paulista.

Descrição da Ação de eficiência energética

O projeto de eficiência energética apresentado neste estudo de caso tem por escopo básico

- **Vertente iluminação** - a substituição de 731 lâmpadas convencionais por outras de tecnologia LED de melhor eficiência.
- **Vertente ar condicionado** - Substituição de 10 aparelhos de ar condicionado por outros de melhor eficiência, com menor consumo de energia e
- **Vertente redução de perdas de água** - Fornecimento de software de gestão para operação da rede de distribuição com redução do tempo de reparo de serviços e consequente redução das perdas de água e de consumo de energia elétrica.

Em especial se destaca a terceira ação de eficiência energética que é específica do setor de abastecimento público de água.

Sistema atual e proposto – Vertente iluminação

Na tabela abaixo é apresentado o quadro resumo com a potência instalada e o consumo de energia dos sistemas atual e proposto.

Tabela 26 - Comparativo Sistema de Iluminação Atual x Proposto.

SISTEMA ATUAL				SISTEMA PROPOSTO				
Modelo	Qte	Potência	Consumo Mensal	Modelo	Potência Unitária	Qte	Potência Total	Consumo Mensal
40WT8	507	22	6110	TLED120	18	507	9	2494
150W Mista	7	1,2	441	Refletor LED	100	118	12	4248
150W Sódio	91	12	5048					
160W Mista	25	4	1567					
250W Mercúrio	15	3	1178	Refletor LED	150	91	14	4914
250W Mista	16	4	1525					
250W Sódio	55	15	5241					

400W Mercúrio	13	5	1816	Refletor LED	200	22	5	1584
400W Sódio	9	4	1405					
TOTAL	738	73	24332			731	39	13240

Com um consumo mensal de 24.331 kWh/mês do sistema de iluminação, tem-se o equivalente a 291,9 MWh/ano. Com o sistema proposto, a estimativa é de que o consumo de energia seja de 13.240 kWh/mês, equivalente a 158,9 MWh/ano, gerando uma economia de 11.091 kWh/mês, o que representa 45%.

A potência instalada do sistema de iluminação atual é de 72,6 kW, reduzindo para 38,9 kW com o sistema proposto. Com as considerações de lâmpadas em funcionamento na ponta, a demanda atual é de 58,3 kW, reduzindo para 31,4 kW com a solução proposta, implicando uma redução de demanda na ponta prevista de 26,8 kW.

Sistema atual e proposto – Vertente ar condicionado

A tabela abaixo mostra o sistema de condicionamento ambiental, na situação atual e na situação proposta pelo projeto de eficiência energética.

Tabela 27 - Comparativo Sistema de ar condicionado Atual x Proposto.

SISTEMA ATUAL					SISTEMA PROPOSTO				
Modelo	Capacidade BTU/h	Qte	Potência Total	Consumo Total	Modelo	Capacidade	Qte	Potência Total	Consumo Total
Janela	7500	1	0,94	106	-	-	-	-	-
Janela	10000	1	1,06	119					
Janela	12300	1	1,29	144	Split Inverter	12000	3	3	338
Janela	12500	1	1,66	186					
Janela	15000	1	1,68	188					
Janela	18000	1	2,23	250,3	Split Inverter	18000	1	1,5	169
Split	30000	2	3,26	365,7	Split Inverter	27000	2	4,5	506,3
TOTAL		10	17	1923			10	12	1350

Com um consumo mensal de 1.922,6 kWh/mês dos aparelhos de condicionamento ambiental atuais, temos o equivalente a 23,1 MWh/ano. Com o sistema proposto, a estimativa é de que o consumo de energia seja de 1350,1 kWh/mês, equivalente a 16,2 MWh/ano, gerando uma economia de 572,4 kWh/mês, o que representa 29,8%.

A potência instalada do sistema de condicionamento atual é de 17,2 kW, reduzindo para 12,1 kW com o sistema proposto. Não há consumo na ponta.

Sistema atual e proposto – Vertente sistema de gestão operacional para controle de perdas de água

Atualmente a geração das Ocorrências de Serviço técnicas é efetuada em papel, após o recebimento de ligação por telefone ou presencialmente, como por exemplo, quando se trata de comunicação de ocorrência de vazamento na rede de distribuição. As OS's atuais cadastradas no *Callcenter* são impressas e disponibilizadas para os supervisores das áreas, que as buscam duas vezes por dia, pela manhã e à tarde, aguardando com as demais para ser executada.

Após a Ação de Eficiência Energética o novo Sistema (Software) permitirá a criação e o encaminhamento de Ordens de Serviço técnicas em tempo real. Toda abertura de ocorrências ficará concentrada no *Callcenter* evitando a abertura de ordens de serviço duplicadas, tanto por abertura de OS em locais distintos quanto pela ocorrência de mais de um pedido.

Com essa alteração, haverá a redução do tempo de solução do problema de vazamento, pela melhor organização do registro das solicitações de serviço e com isso uma redução do volume de água perdido e, conseqüentemente, do consumo de energia elétrica.

Para as ocorrências com vazamento de água, um supervisor tomará a decisão de solução do problema assim que a OS é gerada, reduzindo o tempo de vazamento. Os relatórios gerados pelo Sistema irão mostrar o horário de início e o horário de término dos serviços.

Para a integração de atividades e dados de Operação das Redes em Tempo Real é imprescindível que o Sistema de TI a ser implantado tenha como base o Georeferenciamento dos ativos de distribuição de água e coleta de esgoto, e concomitantemente permita a integração de dados e bases com os seguintes Sistemas de TI existentes no DAE Valinhos, conforme a seguir:

1. Sistema Comercial (Cadastro de Clientes, Faturamento e Arrecadação): utilização de dados dos clientes atendidos pelo DAE Valinhos, quanto a consumo mensal, medidores, endereço completo, etc.
2. Sistema Georeferenciado do Cadastro Técnico (Rede de água e esgoto com todos os componentes, e georeferenciadas): utilização de uma mesma base do Cadastro Técnico Georeferenciado existente no DAE Valinhos, permitindo o uso integrado pelas áreas operacionais da Diretoria Técnica.
3. Sistema de Telemetria: integração com o Sistema Supervisório de Água, gerenciando as captações, níveis operacionais das ETAs, utilização dos dados de operação de níveis de reservatórios, produção de água, consumo de energia elétrica e outros, visando principalmente a redução de energia no horário de ponta do sistema elétrico.

A configuração e especificação técnica do novo Sistema de Gestão da Operação tem os seguintes requisitos:

- Via WEB, com fácil acesso de todos os usuários
- Os mesmos dados de gestão das diversas gerências e áreas da Diretoria Técnica sejam integrados e disponibilizados a todos os usuários de forma descentralizada
- Permita simulações e estudos de planejamento de expansões, melhorias, estudos, bem como utilização como fonte de dados para tomada de decisão gerencial e estratégica dos níveis hierárquicos do DAE Valinhos, com base única
- Permita o uso integrado por outras Diretorias e Áreas do DAE Valinhos, incluindo a disponibilização de dados de serviços para Áreas de atendimento aos clientes
- Permita a execução de “Estudos de Simulação Hidráulica”, nos padrões da IWA – International Water Association, executadas sem a necessidade de exportar os dados para um ambiente externo. Desta forma, todas as edições efetuadas na base cadastral

serão automaticamente passíveis de serem utilizadas para uma simulação sem a necessidade de exportação de arquivos. Deve possibilitar a criação de cenários de simulação em um ambiente único (sem a necessidade de exportação e importação dos dados), ou seja, o sistema deve possuir a funcionalidade de criação de outras versões da base principal de produção sem afetar a base de produção. Deverá permitir que tais cenários poderão ser salvos e recuperados posteriormente

Estratégia de M&V

A atividade de avaliação dos resultados energéticos dos projetos é baseada no Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP – EVO, 2012), visa utilizar as melhores práticas atualmente disponíveis para medir e verificar os resultados do presente projeto de eficiência energética.

As bases para as atividades de M&V consideradas foram:

- Existência de circuitos independentes para os sistemas de iluminação e condicionamento ambiental, que permitiu a instalação de medidor de energia elétrica para medição de consumo;
- Medição de circuitos exclusivos de iluminação e equipamentos de ar-condicionado separadamente;
- A opção adequada para a determinação de consumo evitado é a A, de acordo com o protocolo PIMVP;
- A linha de base será em função da potência instalada e o período de funcionamento das instalações. Os ajustes da linha de base somente serão feitos se houver alguma alteração na rotina de trabalho das instalações;
- Conforme exigido pelo edital para 95% de confiança com 10% de precisão e aplicando-se um coeficiente de variância de 0,3, será realizada uma amostra para o sistema de iluminação de 33 unidades das 731 prevista no projeto, e para o sistema de condicionamento ambiental em 8 de 10 equipamentos eficientizados.
- O cálculo de economia dos sistemas de iluminação e de condicionamento ambiental será determinado igualmente ao realizado no Diagnóstico Energético, porém com linhas de base definidas pelas avaliações ex ante e ex post.

Avaliação ex ante - Esta etapa será desenvolvida no momento da realização do Diagnóstico Energético da instalação, mesurando, assim, o consumo de energia atual do sistema de iluminação e de condicionamento ambiental a receberem as ações de eficiência energética.

Avaliação ex post - Esta etapa será desenvolvida com valores mensurados, consideradas as economias de energia e de redução de demanda na ponta, avaliadas por ações de Medição e Verificação, a partir de medições feitas nas fases de Execução (período da linha de base) e Verificação (período de determinação da economia) e análise para determinação da eficiência energética.

6.1. Vertente Iluminação

Opção do PIMVP - Será considerado o desempenho energético da ação de eficiência energética, adotando a opção A do PIMVP, técnica de medição dos parâmetros chaves, definido como a potência elétrica instantânea, em W. A medição será realizada por amostragem atendo aos critérios de 10% de precisão e de 95% de confiança.

Variáveis independentes - Serão consideradas como variáveis independentes o tempo de utilização e o número de lâmpadas em cada ambiente acessas, uma vez que a alteração desses parâmetros influenciará diretamente no consumo de energia do uso final, neste caso, iluminação.

Fronteira de medição - As medições serão efetuadas com as lâmpadas montadas em estrutura específica para medição de potência, ou diretamente nos pontos de alimentação das luminárias, garantindo, assim, que não irão sofrer interferências de outras cargas.

Serão efetuadas as medições de potência no número de lâmpadas necessárias para garantir o critério de 10% de precisão e de 95% de confiança

Efeitos interativos - Pode ser considerado um efeito interativo a redução da carga térmica ocasionada pela menor potência do sistema de iluminação LED. O ganho no sistema de condicionamento ambiental será desconsiderado para efeitos de cálculo da RCB.

Período e condição da linha de base - Medição instantânea dos parâmetros elétricos – potência, em W. – com wattímetro e/ou analisador de energia elétrica instalado na fronteira de medição.

A linha de base foi definida a partir das medições realizadas para o Diagnóstico Energético, através de amostragem realizada, garantindo os critérios de precisão e confiança exigidos.

Fatores estáticos - O nível de iluminância das áreas estudadas deve ser considerado como fator estático, uma vez que o aumento do nível de iluminação possui correlação direta com o aumento do consumo de energia elétrica, para um mesmo tipo de sistema de iluminação.

Período de determinação da economia - A medição deverá ser realizada igualmente nos mesmos pontos pré-estabelecidos pela equipe de engenharia elétrica dos Edifícios do DAEV, conforme determina o PIMVP – Opção A.

Base de ajuste - Como há correlação direta entre a variável independente e o consumo de energia, deverá ser considerado como parâmetro de verificação de energia o tempo de operação, em h/ano, medido antes da intervenção e o medido após a ação de eficiência energética.

A linha de base do consumo de energia atual deverá ser ajustada para a nova condição de operação do sistema de iluminação. Desta maneira, a economia calculada será dada pela fórmula a seguir:

$$EE = (W_{\text{sistema antigo}} - W_{\text{sistema novo}}) * h / \text{ano}$$

Procedimento de análise:

1. Medição instantânea dos parâmetros elétricos – potência, em W. – com wattímetro e/ou analisador de energia elétrica instalado na fronteira de medição.
2. A determinação do fator de utilização do sistema de iluminação será estimada através de levantamento a ser realizado com os usuários em cada ambiente dos edifícios.

6.2. Vertente Ar condicionado e iluminação

Opção do PIMVP - Será considerado o desempenho energético da ação de eficiência energética, adotando a opção A do PIMVP, técnica de medição dos parâmetros chaves, definido como a potência elétrica instantânea, em W. A medição será realizada por amostragem atendo aos critérios de 10% de precisão e de 95% de confiança.

Variáveis independentes - Serão consideradas como variáveis independentes o tempo de utilização e o histórico de temperatura externa, uma vez que a alteração desses parâmetros influenciará diretamente no consumo de energia do uso final, neste caso, iluminação.

Fronteira de medição - Serão efetuadas as medições de potência no número de aparelhos necessários para garantir o critério de 10% de precisão e de 95% de confiança. A fronteira de medição é o quadro de distribuição de energia de cada aparelho.

Efeitos interativos - Como o projeto prevê a substituição de lâmpadas, pode ser considerado um efeito interativo a redução da carga térmica ocasionada pela menor potência do sistema de iluminação LED. O ganho no sistema de condicionamento ambiental será desconsiderado para efeitos de cálculo da RCB.

Período e condição da linha de base - Medição instantânea dos parâmetros elétricos – potência, em W. – com wattímetro e/ou analisador de energia elétrica instalado na fronteira de medição.

A linha de base foi definida a partir das medições realizadas para o Diagnóstico Energético, através de amostragem realizada, garantindo os critérios de precisão e confiança exigidos.

Fatores estáticos - A capacidade térmica do prédio a ser efficientizado deve ser considerado um fator estático uma vez que sua alteração impactará na redução do consumo de energia previsto.

Período de determinação da economia - A medição deverá ser realizada igualmente nos mesmos pontos pré-estabelecidos pela equipe de engenharia elétrica dos Edifícios do DAEV, conforme determina o PIMVP – Opção A.

Base de ajuste - Como há correlação direta entre a variável independente e o consumo de energia, deverá ser considerado como parâmetro de verificação de energia o tempo de operação, em h/ano, medido antes da intervenção e o medido após a ação de eficiência energética.

A linha de base do consumo de energia atual deverá ser ajustada para a nova condição de operação do sistema de iluminação. Desta maneira, a economia calculada será dada pela fórmula a seguir:

$$EE = (W_{\text{sistema antigo}} - W_{\text{sistema novo}}) * h / \text{ano}$$

Procedimento de análise:

1. Medição instantânea dos parâmetros elétricos – potência, em W. – com wattímetro e/ou analisador de energia elétrica instalado na fronteira de medição.
2. A determinação do fator de utilização do sistema de iluminação será estimada através de levantamento a ser realizado com os usuários em cada ambiente dos edifícios.

6.3. Vertente Sistema de gestão operacional

Opção do PIMVP - Com base no Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP), adotou-se a opção A para verificar a economia prevista nas medidas de eficiência adotadas. O procedimento tipo A diz que as medições de eficiência energética devem ser analisadas isoladamente. Caso as variáveis não possam ser medidas, elas deverão ser estimadas baseadas em dados históricos, especificações de fabricantes ou em avaliação de engenharia.

As ações de eficiência energética estão direcionadas para:

- Determinação dos padrões de consumo de energia e do volume de água perdido (vazão x tempo) através de perdas reais (vazamentos) no período de referência;
- Determinação dos padrões de consumo de energia e do volume de água perdido (vazão x tempo) através de perdas reais (vazamentos) no período após implantação da medida, necessários ao cálculo das economias;

- Determinação na quantidade de ocorrências de vazamento, por tipo – rede, ramal ou cavalete – e estimativa do volume de água perdido teórico.

Fronteira de medição e efeitos interativos com o exterior da fronteira - A fronteira da medição é formada pelas unidades consumidoras descritas abaixo:

- ETA 01
- Barragem das Figueiras
- Barragem Peixe e Cia
- ETA 02
- Captação Atibaia

Estas unidades contemplam o sistema de distribuição de água do DAEV (estações de água e tratamento), que possibilita importar os dados de interesse para o sistema de gerenciamento, de onde será possível extrair os dados referentes ao horário de abertura e de fechamento de Ordens de Serviços, bem como tipo de vazamento ocorrido, tendo como objetivo a análise do volume de água perdido (vazão x tempo) e consumo dos equipamentos (conjuntos motobombas) existentes nessa área do sistema.

Linha de base - medições iniciais - A linha de base é um conjunto de especificações acordado entre as partes envolvidas que serve como base de dados para comparação de resultados. Uma linha de base deve englobar pelo menos um ciclo de funcionamento completo.

Os cálculos de economia foram baseados nos dados obtidos no período de medição inicial, com análise do histórico da micromedição e do consumo de energia elétrica em kWh e em informações de frequência de vazamentos e tempo de reparo fornecidas pelo DAEV.

Ajustes da linha de base -O sistema de gerenciamento permitiu um melhor acompanhamento das ordens de serviços relacionadas às ocorrências de vazamentos. Com isso, poderá se precisar a quantidade de vazamentos visíveis por tipo de vazamento, a saber, vazamentos em ramal, rede ou cavalete. Conseqüentemente, dois parâmetros de influência direta no cálculo da economia merecem ser revisados:

- Quantidade e tipo de vazamentos ocorridos mensalmente;
- Índice de consumo de energia elétrica do sistema de abastecimento do DAEV.

Esses dois parâmetros são utilizados para recalcular a linha de base e, portanto, calcular a economia obtida ex-post. Após a entrada em operação do Sistema de Gerenciamento, os benefícios com o registro correto das ocorrências diárias e a redução de deslocamentos das equipes de manutenção foram percebidos. Em função desse melhor controle das Ordens de Serviços abertas, pode ocorrer um aumento do número de ocorrências mensais. Em consequência, faz-se necessário atualizar o valor do volume horário de vazamentos.

Metas e benefícios por uso final

Vertente Iluminação

Tabela 28 – Informações do sistema antes das medidas de eficiência em iluminação

Iluminação – sistema atual – ex- ante					Total
1	Tipo de equipamento / tecnologia				
2	Lâmpadas	Potência	W	pl_{ai}	7.696,88
3		Quantidade		ql_{ai}	738
2	Reatores	Potência	W	pr_{ai}	405,10
3		Quantidade		qr_{ai}	484

4	Potência instalada	kW	Pa_i	72,57
6	Potência média na ponta	kW	da_i	58,28
7	Energia consumida	MWh/ano	Ea_i	291,98
8	Demanda média na ponta	kW	Da_i	58,28

Tabela 29 – Informações do sistema após as medidas de eficiência em iluminação

Iluminação – sistema proposto – ex- ante				Total	
11	Tipo de equipamento / tecnologia				
12	Lâmpadas	Potência	W	plp_i	4.698,00
13		Quantidade		qlp_i	731
12	Reatores	Potência	W	prp_i	0
13		Quantidade		qrp_i	0
14	Potência instalada	kW	Pp_i	38,85	
16	Potência média na ponta	kW	dp_i	31,4	
17	Energia consumida	MWh/ano	Ep_i	158,88	
18	Demanda média na ponta	kW	Dp_i	31,45	

Vertente Ar- condicionado

Tabela 30 – Informações do sistema antes das medidas de eficiência em condicionamento ambiental

Ar condicionado – sistema atual – ex- ante				Total
1	Tipo de equipamento / tecnologia			
2	Potência nominal de refrigeração	BTU/h	pa_i	149.300
4	Quantidade		qa_i	10
5	Potência instalada	kW	Pa_i	17,17
6	Potência média utilizada	kW	Pua_i	17,17
8	Potência média na ponta	kW	da_i	0
9	Energia consumida	MWh/ano	Ea_i	23,07
10	Demanda média na ponta	kW	Da_i	0

Tabela 31 – Informações do sistema após as medidas de eficiência em condicionamento ambiental

Ar condicionado – sistema proposto – ex- ante				Total
11	Tipo de equipamento / tecnologia			
12	Potência nominal de refrigeração	BTU/h	pp_i	144.000
14	Quantidade		qp_i	10
15	Potência instalada	kW	Pp_i	12,05
16	Potência média utilizada	kW	Pup_i	12,05
18	Potência média na ponta	kW	dp_i	0
19	Energia consumida	MWh/ano	Ep_i	16,20
20	Demanda média na ponta	kW	Dp_i	0

Vertente Sistema de gestão

Para o cálculo dos ganhos, foram considerados os seguintes parâmetros e referências:

- Volume mensal produzido: 1.269.172 m³/mês – histórico de volume mensal médio de 12 meses
- Consumo de energia elétrica na produção de água (captação e tratamento), conforme relação de Unidades Consumidoras pertencentes ao DAEV: 720.836 kWh/mês
- Consumo Específico Encontrado: 0,5680 kWh/m³ de água tratada
- Quantidade de Ocorrências de Vazamentos Visíveis mensais (conforme histórico de reparos realizados no mês de julho de 2016):
 - Redes: 55 (12%)
 - Ramais: 77 (16%)
 - Cavaletes: 337 (72%)
- Tempo Atual de Solução de Ocorrências de Vazamentos Visíveis (conforme histórico de reparos realizados no mês de julho de 2016):
 - Redes: 49,6h
 - Ramais: 61,0h
 - Cavaletes: 40,6h
- Tempo Proposto de Solução de Ocorrências de Vazamentos Visíveis: 4 horas
- Frequência por Tipos e Vazão por Hora de Vazamentos Mensais Atuais e Proposto (conforme vazão média adotada pela IWA, para a pressão média de 27,5 mca:

Tabela 32 – Tempos de atendimento a vazamentos visíveis – Situações atual

sistema atual dos vazamentos visíveis – ex- ante					
Locais de vazamento	Frequência	Perdas de água (m ³ /h) (**)	Volume por mês	Horas de vazamento	Perdas de água (m ³ /mês)
Rede	12%	8,90	55	49,6	24.265
Ramais	16%	1,19	77	61,0	5.589
Cavaletes	72%	1,19	337	40,6	16.271
Total	100%		469		46.125

Tabela 33 – Tempos de atendimento a vazamentos visíveis – Situações proposta

sistema proposto dos vazamentos visíveis – ex- ante					
Locais de vazamento	Frequência	Perdas de água (m ³ /h) (**)	Volume por mês	Horas de vazamento	Perdas de água (m ³ /mês)
Rede	12%	8,90	55	4	1.958
Ramais	16%	1,19	77	4	367
Cavaletes	72%	1,19	337	4	1.604
Total	100%		469		3.929

Redução de Perdas de Água Tratada: 42.196 m³/mês

Redução de Energia Elétrica Mensal: 42.196 x 0,568 = 23.966 kWh/mês = 287,6 MWh/ano

A definição das metas de energia economizada, em MWh/ano, e da redução de demanda na ponta, em kW, foi baseada na diferença entre o consumo de energia do sistema atual (medido) e do sistema proposto, mantendo constante o volume aduzido mensal. A valoração das metas foi realizada de acordo com o módulo 7 do PROPEE.

Tabela 34 – Valoração de Energia evitada e demanda evitada

Classe de tensão		11,4kV
CEE – Custo evitado de energia		331,57 R\$
CED – custo evitado de demanda		355,92 R\$
Resolução ANEEL		n.º2056 de 8 de abril 2016

As economias obtidas após implantação das medidas de eficiência energética são:

Tabela 35 – Redução do consumo de energia elétrica

Uso final	Consumo atual		Consumo futuro		Economia	
	MWh/ano	percentual	MWh/ano	MWh/ano	Percentual de consumo sistema	Percentual consumo anual
Iluminação	292,0	4,1%	158,9	133,10	45,58%	1,85%
HVAC	23,1	0,3%	16,2	6,87	29,77%	0,10%
Bombeamento	6.814,4	95,0%	6.528,8	287,59	4,22%	4,01%
Outras cargas (sistema de gestão)	44,7	0,6%	43,7	0	0%	0%
Total	7.175,2	100%	6.747,6	427,56	5,96%	5,96%

Tabela 36 – Redução da demanda por energia elétrica

Uso final	Demanda atual			Demanda futura		Redução de demanda na ponta		
	F.ponta (kW)	Ponta (kW)	%	F.ponta (kW)	Ponta (kW)	kW	% demanda sistema	% demanda anual
Iluminação	72,6	58,28	7,0%	38,85	31,45	26,83	36,97%	2,58%
HVAC	17,17	0	1,6%	12,1	0	0	0%	0%
Bombeamento	936,7	936,68	90,0%	936,68	936,68	0	0%	0%
Outras cargas (sistema de gestão)	14,3	14,34	1,4%	14,34	14,34	0	0%	0%
Total	1.040,8	1.009,29	100%	1001,92	982,46	26,83	36,97%	2,58%

Em suma, a economia de energia elétrica será de 35.629,6 kWh/mês (427,6 MWh/ano) e representa 5,96% do consumo mensal do DAEV. Em relação a Demanda, a economia será de 26,8 kW e representa 2,58% da demanda total registrada.

Cálculo da Relação Custo Benefício

Tabela 37 – Benefício anualizado - Iluminação

Iluminação resultados esperados – Ex ante		
		TOTAL
21	Redução de demanda na ponta (kW)	RDP_i 26,83
22	Custo evitado de demanda (CED = 355,92) %	RDP_i % 46,04%
23	Energia economizada (MWh/ano)	EE_i 133,10

24	Custo da energia evitada (CEE = 331,57) (%)	EE_i %	45,58%
	Benefício anualizado iluminação – Ex- Ante (R\$)	B_{ilum}	53.682,16

Tabela 38 – Benefício anualizado – Condicionamento ambiental

Condicionamento ambiental resultados esperados – Ex ante			TOTAL
21	Redução de demanda na ponta (kW)	RDP_i	0
22	Custo evitado de demanda (CED = 355,92) %	RDP_i %	0%
23	Energia economizada (MWh/ano)	EE_i	6,87
24	Custo da energia evitada (CEE = 331,57) (%)	EE_i %	29,77%
	Benefício anualizado ar condicionado– Ex- Ante (R\$)	B_{ilum}	2.277,57

Tabela 39 – Benefício anualizado – Sistema de gestão – correspondente a “outros”

Outros: sistema de gestão resultados esperados – Ex ante			TOTAL
21	Redução de demanda na ponta (kW)	RDP_i	0
22	Custo evitado de demanda (CED = 355,92) %	RDP_i %	0%
23	Energia economizada (MWh/ano)	EE_i	287,59
24	Custo da energia evitada (CEE = 331,57) (%)	EE_i %	100,00%
	Benefício anualizado sistema de gestão– Ex- Ante (R\$)	B_{ilum}	95.355,37

Relação Custo x Benefício

Tabela 40 – Tabela de Relação Custo Benefício – por ação individual e global do projeto.

Uso final	EE Energia economizada (MWh/a)	RDP Redução de demanda na ponta (kW)	CA Custo anualizado PEE	BA Benefício anualizado	RCB por uso final	RCB Ex-ante PEE
Iluminação	133,10	26,83	R\$ 28.759,96	R\$ 53.682,16	0,54	0,79
HVAC	6,78		R\$ 5.106,27	R\$ 2.277,57	2,24	
Outras cargas (sistema de gestão e bombeamento)	287,59		R\$ 85.976,48	R\$ 93.355,37	0,90	
Total	427,56	26,83	R\$ 101.842,70	R\$ 151.315,10	0,79	

O valor obtido do RCB no projeto foi de 0,79, inferior ao limite⁴⁰ de 0,80 determinado pela ANEEL e também pelo edital de chamada pública, o que representa um retorno favorável que se pode obter no incentivo ao desenvolvimento deste tipo de projeto.

⁴⁰ há distribuidoras que adotam, como medida conservadora, valores de RCB inferiores ao limite Aneel

Estudo de caso Saneago - Inversores de frequência em estação elevatória

Enquadramento

Este Projeto foi submetido pela Saneago – Saneamento de Goiás S.A. à chamada pública CPP-001/2015 da Celg Distribuição S.A.

Descrição da Ação de eficiência energética

A vazão de água bruta da estação elevatória e da captação são equalizadas por meio do estrangulamento do registro de recalque da água bruta, de modo a que a água na torre de carga não seque ou extravase. Essa prática gera em aumento da perda de carga e energia no ponto, além do aumento do custo de manutenção.

O projeto de eficiência energética propõe instalar inversores de frequência nos motores da estação elevatória para controle de vazão. Além de reduzir o consumo de energia e a demanda da unidade, a aquisição dos inversores de frequência proporcionará diversos ganhos para a unidade, tais como:

- Redução de manutenções corretivas no registro de manobra.
- Melhor controle na equalização de vazão entre a captação de água bruta e *booster*.
- Melhoria no indicador do consumo específico de energia (kWh/m³).

Por meio de software específico e utilizando dados coletados em campo, foi possível simular as atuais condições de carga do sistema. O software identificou uma perda de carga nas válvulas da estação elevatória igual a 21 mca. Com a instalação dos inversores estimou-se uma redução de 0,07 kWh/m³ no consumo específico e uma redução de potência superior a 40 kW por motor.

Cada um dos dois motores em operação recebeu um sistema de inversores de frequência que, além do controle de velocidade, permitiram partidas mais lentas. Destaca-se o rendimento nominal do inversor igual a 98%.

Situação atual

Os motores da estação elevatória que receberão os benefícios da instalação dos sistemas de inversores possuem potências nominais de 500 cv. Dessa forma, temos apenas um sistema a ser considerado no projeto de eficiência energética.

1. Potência nominal do motor (cv): $p_{a1} = 500 \text{ cv}$
2. Carregamento: 83%
3. Rendimento nominal (%): 96,3% (dado de placa)
3. a) Rendimento no ponto de carregamento (%): 96,3% (dado de catálogo)
4. Quantidade: 2

5. Potência instalada (kW):

$$P_{a1} = \frac{p_{a1} * 0,736 * q_{a1}}{\eta_{na1}}$$

$$P_{a1} = \frac{(500 * 0,736 * 2)}{0,963}$$

$$P_{a1} = 764,28 \text{ kW}$$

6. Potência média utilizada (kW): é a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia considerando o carregamento médio do motor e o seu rendimento no ponto de carregamento.

$$Pu_{a1} = Pa_1 * \gamma_{a1} * \frac{\eta_{na1}}{\eta_{a1}}$$

$$Pu_{a1} = \frac{764,28 * 0,83 * 96,3}{96,3} = 634,35 \text{ kW}$$

7. Funcionamento (h/ano): 7.300 horas
8. FCP (fator de coincidência na ponta): 1
9. Energia consumida (MWh/ano): é a energia total consumida em um ano considerando a potência média utilizada pelo sistema e o tempo de funcionamento informados nos itens 6 e 7.

$$E_{a1} = \frac{Pu_{a1} * h_{a1}}{1000}$$

$$E_{a1} = \frac{634,35 * 7300}{1000}$$

$$E_{a1} = 4.630,37 \frac{\text{MWh}}{\text{ano}}$$

10. Demanda média na ponta (kW): é a demanda média requerida pelo sistema considerando a potência média utilizada e o fator de coincidência na ponta informados nos itens 6 e 8.

$$D_{a1} = Pu_{a1} * FCP_{a1}$$

$$D_{a1} = 634,35 * 1 = 634,35 \text{ kW}$$

Tabela 41 – Resumo de informações do sistema antes das medidas de eficiência

SISTEMA ATUAL				
		Sistema 1	TOTAL	
1	Potência nominal do motor (cv)	pa_1	500	500
2	Carregamento (1)	γ_{a1}	0,83	0,83
3	Rendimento nominal (%)	η_{na1}	96,3	96,3
3a	Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{a1}	96,3	96,3
4	Quantidade	qa_1	2	2
5	Potência instalada (kW)	$Pa_1 = \frac{pa_1 * 0,736 * qa_1 a}{\eta_{na1}}$	764,28	764,28
6	Potência média utilizada (kW)	$Pu_{a1} = Pa_1 * \gamma_{a1} * \frac{\eta_{na1}}{\eta_{a1}}$	634,35	634,35
7	Funcionamento (h/ano)	h_{a1}	7.300	7.300
8	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{a1}	1	1
9	Energia consumida (MWh/ano)	$E_{a1} = \frac{Pu_{a1} * h_{a1}}{1000}$	4.630,37	4.630,37
10	Demanda média na ponta (kW)	$D_{a1} = Pu_{a1} * FCP_{a1}$	634,35	634,35

Situação proposta

Pretende-se com a instalação dos inversores eliminar uma perda de carga de 21mca.

11. Potência nominal do motor (cv): $p_{a1} = 500 \text{ cv}$
 12. Carregamento: 72%
 13. Rendimento nominal (%): 93,4% (dados de placa – motor e inversor)
 13. a) Rendimento no ponto de carregamento (%): 93,4% (dado de catálogo)
 14. Quantidade: 2

15. Potência instalada (kW):

$$P_{a1} = \frac{p_{a1} * 0,736 * q_{a1}}{\eta_{na1}}$$

$$P_{a1} = \frac{(500 * 0,736 * 2)}{0,934}$$

$$P_{a1} = 788,00 \text{ kW}$$

16. Potência média utilizada (kW): é a potência elétrica requerida da rede de distribuição de energia considerando o carregamento médio do motor e o seu rendimento no ponto de carregamento.

$$Pu_{a1} = P_{a1} * \gamma_{a1} * \frac{\eta_{na1}}{\eta_{a1}}$$

$$Pu_{a1} = \frac{788,00 * 0,72 * 93,4}{93,4} = 567,37 \text{ kW}$$

17. Funcionamento (h/ano): 7.300 horas

18. FCP (fator de coincidência na ponta): 1

19. Energia consumida (MWh/ano): é a energia total consumida em um ano considerando a potência média utilizada pelo sistema e o tempo de funcionamento informados nos itens 16 e 17.

$$E_{a1} = \frac{Pu_{a1} * h_{a1}}{1000}$$

$$E_{a1} = \frac{567,37 * 7300}{1000}$$

$$E_{a1} = 4.141,37 \frac{\text{MWh}}{\text{ano}}$$

20. Demanda média na ponta (kW): é a demanda média requerida pelo sistema considerando a potência média utilizada e o fator de coincidência na ponta informados nos itens 16 e 18.

$$D_{a1} = Pu_{a1} * FCP_{a1}$$

$$D_{a1} = 567,37 * 1 = 567,37 \text{ kW}$$

Tabela 42 – Resumo de informações do sistema após as medidas de eficiência

SISTEMA PROPOSTO				
			Sistema 1	TOTAL
11	Potência nominal do motor (cv)	p_{a1}	500	500
12	Carregamento (1)	γ_{a1}	0,72	0,72
13	Rendimento nominal (%)	η_{na1}	93,4	93,4
13a	Rendimento no ponto de carregamento (%)	η_{a1}	96,3	96,3
14	Quantidade	q_{a1}	2	2

15	Potência instalada (kW)	$P_{a1} = \frac{pa_1 * 0,736 * qa_1 a}{\eta n_{a1}}$	788,00	788,00
16	Potência média utilizada (kW)	$Pu_{a1} = Pa_1 * \gamma a_1 * \frac{\eta n_{a1}}{\eta a_1}$	567,37	567,37
17	Funcionamento (h/ano)	h_{a1}	7.300	7.300
18	FCP (fator de coincidência na ponta)	FCP_{a1}	1	1
19	Energia consumida (MWh/ano)	$E_{a1} = \frac{Pu_{a1} * h_{a1}}{1000}$	4.141,37	4.141,37
20	Demanda média na ponta (kW)	$D_{a1} = Pu_{a1} * FCP_{a1}$	567,37	567,37

Resultados esperados

21. Redução de demanda na ponta

$$RDP_1 = 634,35 - 567,37 = 66,98 \text{ kW}$$

$$RDP (\%) = 66,98/634,35 = 10,56\%$$

22. Energia economizada

$$EE = 4.630,37 - 4.141,37 = 489,00 \text{ MWh/ano}$$

$$EE (\%) = 489,00/4.630,37 = 10,56\%$$

Tabela 43 - Resultados Esperados

RESULTADOS ESPERADOS				
		Sistema 1	TOTAL	
21	Redução de demanda na ponta (kW)	$RDP_i = D_{ai} - D_{pi}$	66,98	66,98
22	Redução de demanda na ponta (%)	$RDP\% = \frac{RDP_i}{D_{ai}} * 100$	10,56	10,56
23	Energia economizada (MWh/ano)	$EE_i = E_{ai} - E_{pi}$	489,00	489,00
24	Energia economizada (%)	$EE\% = \frac{EE_i}{E_{ai}} * 100$	10,56	10,56