

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

NÁGILA LUCIETTI SCHMIDT

**AVALIAÇÃO DA MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO DE RESULTADOS EM
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO DO PEE**

**ITAJUBÁ
2020**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

NÁGILA LUCIETTI SCHMIDT

**AVALIAÇÃO DA MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO DE RESULTADOS EM
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO DO PEE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia de Energia.

Área de Concentração: Planejamento e Gestão de Sistemas Energéticos

Orientador: Prof. Dr. Jamil Haddad

Coorientador: Prof. Dr. Roberto Akira Yamachita

ITAJUBÁ
2020

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA**

NÁGILA LUCIETTI SCHMIDT

**AVALIAÇÃO DA MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO DE RESULTADOS EM
EFICIÊNCIA ENERGÉTICA: ESTUDO DE CASO DO PEE**

Dissertação aprovada por banca examinadora em 21 de fevereiro de 2020, conferindo ao autor o título de *Mestre em Ciências em Engenharia de Energia*.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Jamil Haddad (Orientador)

Prof. Dr. Roberto Akira Yamachita (Coorientador)

Prof. Dr. Marcos Vinícius Xavier Dias

Prof. Dr. Germano Lambert-Torres

**ITAJUBÁ
2020**

AGRADECIMENTOS

À Deus, pelo dom da vida e por guiar meus passos.

Aos meus orientadores, Prof. Dr. Jamil Haddad e Prof. Dr. Roberto Akira Yamachita, por todos os ensinamentos e o suporte prestado durante a elaboração deste trabalho.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia, por todos os aprendizados.

Aos colegas do EXCEN, pelos cafés compartilhados, conselhos e auxílio neste trabalho.

À minha família, especialmente ao Arthur, pela compreensão e apoio nesta etapa.

À minha amiga e colega de mestrado Lilian Freitas, pela amizade, parceria e companheirismo em todos os momentos durante o mestrado, e agora, para a vida.

À CAPES, pelo suporte financeiro que tornou possível a elaboração deste trabalho e à ANEEL, pelo fornecimento de dados.

RESUMO

A eficiência energética é primordial para reduzir o consumo de energia elétrica enquanto mantém o crescimento dos setores. É importante garantir a confiabilidade dos resultados das ações de eficiência energética, e para isso, recomenda-se a adoção de práticas de medição e verificação (M&V) de resultados, baseadas em protocolos de M&V. Nesse contexto, o presente trabalho realizou uma análise das atividades de M&V de projetos implementados no âmbito do Programa de Eficiência Energética da ANEEL, o principal programa de fomento à eficiência energética no país. Considerou-se uma amostra de 172 projetos, envolvendo as tipologias baixa renda, poder público e serviços públicos, que abordaram a efficientização dos usos finais em iluminação, refrigeração, condicionamento de ar e força motriz. Foram avaliados os resultados gerais dos projetos, quanto à energia economizada, demanda retirada da ponta, relação custo-benefício (RCB) e investimentos totais efetuados, bem como, as atividades de M&V, quanto às opções de M&V adotadas, os parâmetros medidos e estimados, os períodos de medição, as variáveis independentes, a elaboração de modelos de regressão, os fatores estáticos e efeitos interativos, fronteiras de medição, ajustes à linha de base e considerações sobre a amostragem. Foi possível identificar que os projetos apresentaram resultados satisfatórios, tanto em valores de energia economizada, como em redução de demanda na ponta e RCB, o que demonstra que o PEE é um mecanismo eficaz na promoção da conservação de energia no país. Constatou-se que, quanto maior a complexidade do padrão de consumo de energia elétrica do uso final, maior são os custos dispendidos com M&V. De modo geral, observou-se padrões distintos de M&V, para os mesmos usos finais, sendo realizadas muitas simplificações ao processo, e não considerando parâmetros importantes na maioria dos projetos, como por exemplo, as variáveis independentes e os ajustes à linha de base. Foi observado que não há, de modo geral, uma padronização a respeito dos parâmetros a serem medidos e estimados, nem dos períodos de medição a serem empregados, o qual é heterogêneo dentre os usos finais. De fato, verificou-se que a M&V não é um processo de simples entendimento e execução, o que gera incertezas aos resultados das economias reportadas. A metodologia de análise empregada neste trabalho suscita discussões sobre a confiabilidade dos resultados de economia de energia, os quais são importantes para o progresso da eficiência energética no país, além de permitir identificar as deficiências e propor melhorias.

Palavras-chave: Medição e Verificação. Programa de Eficiência Energética. Economia de Energia.

ABSTRACT

Energy efficiency is essential to reduce the consumption of electricity while maintaining the growth of the sectors. It is important to ensure the reliability of the results of energy conservation measures, and for that, it is recommended to adopt measurement and verification (M&V) practices of results, based on M&V protocols. In this context, the present work carried out an analysis of the M&V activities of projects implemented under the Energy Efficiency Program of ANEEL, the main program to promote energy efficiency in the country. A sample of 172 projects was considered, involving low-income, public agencies and public services, which addressed the efficiency of end use in lighting, refrigeration, air conditioning, and driving force. The general results of the projects were evaluated, regarding the saved energy, peak demand reduction, benefit- cost ratio (BCR) and total investments, as well as the M&V activities, regarding the M&V options adopted, the measured and estimated parameters, measurement periods, independent variables, the development of regression models, static factors and interactive effects, measurement boundaries, adjustments to the baseline and considerations about sampling. It was possible to identify that the projects presented satisfactory results, both in terms of energy savings, as well as in peak demand reduction and BCR, which demonstrates that the PEE is an effective mechanism in promoting energy conservation in the country. It was found that the greater the complexity of the pattern of electricity consumption for end use, the greater the costs spent on M&V. In general, different M&V patterns were observed, for the same end uses, with many simplifications being made to the process, and not considering important parameters in most projects, such as independent variables and adjustments to the baseline. It was observed that, in general, there is no standardization regarding the parameters to be measured and estimated, or the measurement periods to be used, which is heterogeneous among the end uses. It was found that M&V is not a process of simple understanding and execution, which creates uncertainties in the results of the reported savings. The analysis methodology used in this work raises discussions about the reliability of savings, which are important for the progress of energy efficiency in Brazil, in addition to allowing the identification of deficiencies and proposing improvements.

Keywords: Measurement and Verification. Energy Efficiency Program. Energy saving.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Ranking da ACEEE em 2018 e pontuação por categoria	18
Figura 2.1 - Modelo de ENCE (para refrigeradores), selo CONPET e selo PROCEL	24
Figura 2.2 - Exemplo de processo de determinação de economia de energia	32
Figura 2.3 - Processo simplificado de seleção da opção de M&V	40
Figura 2.4 - Fases de M&V durante um projeto do PEE.....	60
Figura 3.1 - Fluxograma de ações propostas	64
Figura 3.2 - Distribuição regional da amostra de projetos analisada por tipologia.....	65
Figura 3.3 - Quantidade de projetos analisados e projetos concluído por tipologia.....	65
Figura 4.1 - Comparação regional entre RCB prevista e realizada em baixa renda.....	75
Figura 4.2 - Comparação entre as opções de M&V adotadas em projetos de baixa renda	76
Figura 4.3 - Comparação regional entre RCB prevista e realizada no poder público	86
Figura 4.4 - Comparação entre as opções de M&V adotadas em projetos do poder público...	87
Figura 4.5 - Comparação regional entre RCB prevista e realizada em saneamento	98
Figura 4.6 - Comparação entre as opções de M&V adotadas em projetos de saneamento	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Resultados do PROCEL no período de 2014 a 2018	25
Tabela 2.2 - Histórico de regulamentações da Lei nº 10.295/2001	27
Tabela 2.3 - Visão geral das opções de M&V do PIMVP.....	35
Tabela 2.4 - Melhores aplicações para cada opção de M&V	39
Tabela 2.5 - Histórico de regulamentações impostas ao PEE	51
Tabela 2.6 - Relação de projetos registrados no PEE desde a RN ANEEL nº 300/2008.....	54
Tabela 2.7 - Relação das tipologias de projetos do PEE e ações comuns por tipologia	55
Tabela 3.1 - Relação de projetos de eficiência energética concluídos até junho de 2018.....	63
Tabela 3.2 - Informações gerais dos projetos de eficiência energética analisados.....	65
Tabela 4.1 - Resultados previstos e realizados dos projetos analisados por tipologia	70
Tabela 4.2 – Resultados gerais dos projetos analisados por região.....	71
Tabela 4.3 - Investimentos totais e custos de M&V por tipologia de projeto	72
Tabela 4.4 - Comparação de indicadores de R\$/MWh e R\$/kW economizados	73
Tabela 4.5 - Resultados previstos e realizados em baixa renda de acordo com o uso final	74
Tabela 4.6 – Investimento e custos de M&V para a tipologia baixa renda por região.....	74
Tabela 4.7 - Comparação percentual das opções de M&V por região para baixa renda.....	77
Tabela 4.8 - Parâmetros medidos e estimados em iluminação com a opção A.....	77
Tabela 4.9 - Períodos de medição utilizados em projetos de iluminação com a Opção A.....	78
Tabela 4.10 - Períodos de medição utilizados em projetos de iluminação com a Opção C.....	79
Tabela 4.11 - Parâmetros medidos e estimados em refrigeração com a opção A	80
Tabela 4.12 - Parâmetros medidos em refrigeração com a opção B	80
Tabela 4.13 - Períodos de medição utilizados em projetos de refrigeração com a Opção A ...	81
Tabela 4.14 - Períodos de medição utilizados em projetos de refrigeração com a Opção B ...	81
Tabela 4.15 - Períodos de medição utilizados em projetos de refrigeração com a Opção C ...	81
Tabela 4.16 - Considerações para definição de amostragem dos projetos de baixa renda.....	83
Tabela 4.17 - Quantitativo de lâmpadas implementadas em projetos de baixa renda.....	84
Tabela 4.18 - Quantitativo de geladeiras implementadas em projetos de baixa renda.....	84
Tabela 4.19 - Resultados previstos e realizados no poder público de acordo com o uso final	84
Tabela 4.20 - Investimento e custos de M&V para a tipologia poder público por região.....	85
Tabela 4.21 - Comparação percentual das opções de M&V por região para poder público	88
Tabela 4.22 - Parâmetros medidos e estimados em iluminação com a opção A.....	88
Tabela 4.23 - Períodos de medição utilizados em projetos de iluminação com a Opção A.....	89

Tabela 4.24 - Períodos de medição utilizados em projetos de iluminação com a Opção C	90
Tabela 4.25 - Parâmetros medidos e estimados em condicionamento de ar com a opção A ...	90
Tabela 4.26 - Parâmetros medidos em condicionamento de ar com a opção B	91
Tabela 4.27 - Períodos de medição utilizados em condicionamento de ar com a Opção A	91
Tabela 4.28 - Períodos de medição utilizados em condicionamento de ar com a Opção B	91
Tabela 4.29 - Períodos de medição utilizados em condicionamento de ar com a Opção C	92
Tabela 4.30 - Considerações para definição de amostragem dos projetos do poder público ...	94
Tabela 4.31 – Quantitativo de lâmpadas implementadas em projetos do poder público	95
Tabela 4.32 – Quantitativo de condicionadores de ar implementados no poder público	95
Tabela 4.33 - Resultados de projetos de serviços públicos de acordo com o uso final.....	96
Tabela 4.34 - Investimento e custos de M&V para a tipologia serviços públicos por região ..	97
Tabela 4.35 - Comparação percentual das opções de M&V por região para saneamento	99
Tabela 4.36 - Parâmetros medidos e estimados em projetos de saneamento com a opção A	100
Tabela 4.37 - Parâmetros medidos em projetos de saneamento com a opção B	101
Tabela 4.38 - Períodos de medição utilizados em projetos de saneamento.....	102
Tabela 4.39 - Quantitativo de equipamentos implementados em projetos de saneamento	105

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACEEE	<i>American Council for an Energy Efficiency Economy</i>
AEE	Ação de Eficiência Energética
AIR	Análise de Impacto Regulatório
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ARC	Agente Redutor de Consumo
ASHRAE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
CGIEE	Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética
CIE	<i>International Commission on Illumination</i>
CME	Custo Marginal de Expansão
CO	Centro-Oeste
CONPET	Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural
CO ₂	Dióxido de Carbono
EE	Energia Economizada
EM&V	<i>Evaluation, Measurement and Verification</i>
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESCO	<i>Energy Service Company</i>
EVO	<i>Efficiency Valuation Organization</i>
FCP	Fator de Coincidência na Ponta
FEMP	<i>Federal Energy Management Program</i>
GCC	Grupo Coordenador do CONPET
GCCE	Grupo Coordenador de Conservação de Energia Elétrica
GDR	Graus-Dia de Resfriamento
GEE	Gases de Efeito Estufa
GIZ	<i>Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEA	<i>International Energy Agency</i>
INMETRO	Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade

ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LFC	Lâmpada Fluorescente Compacta
LFT	Lâmpada Fluorescente Tubular
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
MCT	Ministério da Ciência e Tecnologia
MDIC	Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior
MIC	Ministério da Indústria e Comércio
MME	Ministério de Minas e Energia
M&V	Medição e Verificação
N	Norte
NE	Nordeste
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PDE	Plano Decenal de Expansão de Energia
PEE	Programa de Eficiência Energética
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
PME	Programa de Mobilização Energética
PNE	Plano Nacional de Energia
PNEf	Plano Nacional de Eficiência Energética
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
PROPEE	Procedimentos do Programa de Eficiência Energética
PRORET	Procedimentos de Regulação Tarifária
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
RA	Receita Operacional Anual
RCB	Relação Custo-Benefício
RDP	Demanda Retirada da Ponta
ROL	Receita Operacional Líquida
S	Sul
SE	Sudeste
SIN	Sistema Interligado Nacional
TCR	<i>Transient Climate Response</i>
TR	Tonelada de Refrigeração
TSEE	Tarifa Social de Energia Elétrica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo geral	16
1.2	Objetivos específicos	16
1.3	Justificativa do trabalho	17
1.4	Estrutura do trabalho	20
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	Histórico de políticas em eficiência energética no Brasil	22
2.2	Medição e verificação de resultados em eficiência energética	29
2.2.1	Opções de M&V conforme o PIMVP	34
2.2.2	Plano de M&V	40
2.2.3	Incertezas e custos na M&V	42
2.2.4	Amostragem	45
2.3	Protocolos e diretrizes de M&V	47
2.3.1	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance	48
2.3.2	ASHRAE <i>Guideline</i> 14:2002	48
2.3.3	FEMP M&V <i>Guidelines</i>	49
2.4	Programa de Eficiência Energética da ANEEL	50
2.4.1	Procedimentos do Programa de Eficiência Energética	58
2.4.2	M&V no âmbito do Programa de Eficiência Energética	59
3	METODOLOGIA	63
3.1	Descrição das tipologias de projeto	66
3.1.1	Tipologia Baixa Renda	66
3.1.2	Tipologia Poder Público	66
3.1.3	Tipologia Serviços Públicos	67
3.2	Descrição das análises realizadas	68
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	70
4.1	Resultados gerais dos projetos	70
4.2	Avaliação da M&V por tipologia	73
4.2.1	Resultados da tipologia Baixa Renda	73
4.2.2	Resultados da tipologia Poder Público	84
4.2.3	Resultados da tipologia Serviços Públicos	96

5	CONCLUSÃO	106
	REFERÊNCIAS	109
	APÊNDICE A – COMPARAÇÃO ENTRE PROTOCOLOS DE M&V.....	118
	APÊNDICE B – RELAÇÃO DE PROJETOS DO PEE ANALISADOS	122

1 INTRODUÇÃO

A energia é um insumo fundamental para o desenvolvimento econômico e social de um país. A escassez no suprimento de tal insumo pode acarretar graves crises em uma nação, principalmente no âmbito econômico, colocando-a em uma posição delicada diante da concorrência externa, ampliando o nível de dependência energética (SILVA; GUERRA, 2009). As implicações ambientais acerca da produção e uso de recursos energéticos representam um grande desafio para países em desenvolvimento, uma vez que a geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica devem ser direcionados para garantir o desenvolvimento, minimizando os possíveis impactos negativos (CAMIOTO; MARIANO; REBELATTO, 2014).

Neste contexto, a eficiência energética consiste em um mecanismo viável para reduzir o consumo de energia elétrica, sem o comprometimento do nível de produção industrial e do conforto proporcionado aos indivíduos pelo uso da energia elétrica. A eficiência energética baseia-se em modificações ou aperfeiçoamentos tecnológicos de equipamentos e ao longo do processo produtivo, além de melhorias na organização, conservação e gestão energética. Ademais, ações de eficiência energética (AEEs) visam atender às necessidades energéticas com menor uso de energia primária e, portanto, promover a preservação de recursos naturais (BRASIL, 2011a).

A eficiência energética está ligada à competitividade de cunho comercial e industrial, além de promover benefícios na esfera da segurança energética e ambiental (como a redução das emissões de CO₂ e demais gases agravantes do efeito estufa). Além de estimular o crescimento econômico, a eficiência energética possibilita a redução da necessidade de expansão da oferta de energia elétrica, postergando os investimentos em parques geradores e no setor elétrico em geral (BAJAY *et al.*, 2018).

A eficiência energética é primordial para transições energéticas econômicas e rentáveis, consistindo em um recurso energético que todos os países possuem em abundância. A adoção de políticas robustas no setor é vital para alcançar os objetivos da política energética e expandir os múltiplos benefícios da eficiência energética, de reduzir o consumo e os custos com energia elétrica, abordar as mudanças climáticas e a poluição atmosférica local, melhorar a segurança energética e ampliar o acesso à energia elétrica, sobretudo em países em desenvolvimento (IEA, 2018a).

Dentre os mecanismos de fomento voltados à conservação de energia no Brasil, o Programa de Eficiência Energética (PEE) executado pelas empresas concessionárias e

permissionárias de distribuição de energia elétrica e regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), consiste no principal programa de investimentos voltado à eficiência energética no país. O PEE foi regulamentado pela Lei nº 9.991/2000, a qual estabeleceu um percentual mínimo de aplicação anual de recursos, baseado na Receita Operacional Líquida (ROL) das empresas de distribuição de energia elétrica, impondo a obrigatoriedade de investimentos em programas de eficiência energética no uso final.

A eficácia de uma AEE implementada, é usualmente definida pela economia ou consumo de energia evitado, e visto que a economia representa a ausência do consumo de energia elétrica, a mesma não pode ser medida diretamente (CARSTENS; XIA; YADAVALLI, 2017). Para tal, a economia é determinada pela comparação entre o consumo de energia elétrica medido anteriormente (período de linha de base) e o consumo medido posteriormente (período de determinação da economia) à implementação de uma AEE, considerando os ajustes necessários às alterações nas condições de uso, de modo a tornar a comparação entre os dois períodos equânime. Ao processo geral de confirmação da eficácia de uma medida de conservação de energia, denomina-se Medição e Verificação (M&V) (WALTER; PRICE; SOHN, 2014).

Para apurar os resultados das AEEs implementadas no âmbito do PEE, desde 2008, estão previstos procedimentos de M&V de acordo com o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP). Conforme EVO (2012), o PIMVP “é um documento de apoio que descreve as práticas comuns de medição, cálculo e relatório de economia, obtidas por projetos de eficiência energética ou de consumo eficiente de água nas instalações do usuário final”. O protocolo apresenta uma estrutura e quatro opções de M&V, com o objetivo de avaliar de forma transparente, segura e consistente a economia obtida por um projeto. Assim, quando as atividades de M&V aderem às recomendações do PIMVP, estas podem reportar resultados de economia verificada (EVO, 2012).

É importante garantir a confiabilidade dos resultados de economias de energia advindas das AEEs implementadas por programas de fomento à conservação de energia, assim como a garantia da permanência dos benefícios ao longo dos anos, ou seja, durante a vida útil dos equipamentos (SANTOS, 2018). Por outro lado, as dificuldades encontradas na etapa de execução da M&V de resultados de AEEs atribuem maiores incertezas aos ganhos energéticos obtidos em programas de eficiência energética (CARDOSO, 2012), e por esse motivo, é fundamental a padronização de procedimentos para aferição de resultados e a adoção de protocolos ou diretrizes para a execução da etapa de M&V.

Devido a importância de reportar resultados de economia confiáveis, o presente trabalho propôs realizar um estudo de caso considerando o PEE, a fim de analisar as atividades de M&V de projetos de conservação de energia, desenvolvidos no âmbito do programa, e reportados por relatórios específicos de M&V. O trabalho concentrou-se na análise de M&V de três tipologias de projetos, consistindo em projetos executados em residências de clientes de baixo poder aquisitivo (tipologia baixa renda), em empresas de saneamento (tipologia serviços públicos) e em prédios do poder público (tipologia poder público).

Os usos finais selecionados dentre as tipologias analisadas, consistiram em iluminação, refrigeração, condicionamento de ar e força motriz. Os usos finais refrigeração, condicionamento de ar e força motriz necessitam de ações de M&V mais detalhadas, devido à existência de variáveis independentes que podem influenciar o modelo de consumo de energia elétrica (padrão de consumo variável), e podem alterar os valores de energia economizada.

Assim, a análise das atividades de M&V de diferentes projetos realizados no âmbito do principal programa de fomento à eficiência energética no país, possibilitou uma maior compreensão do modo que o processo está sendo conduzido nas várias edições do PEE. Além disso, a análise forneceu informações importantes acerca da confiabilidade do processo e dos resultados de economia reportados, o que pode ser utilizado para o aperfeiçoamento do programa e de projetos futuros.

1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho é avaliar os procedimentos de M&V de resultados de projetos de eficiência energética, implementados no âmbito do PEE, em residências de baixa renda (nos usos finais de iluminação e refrigeração), em prédios do poder público (nos usos finais de iluminação e condicionamento de ar) e em empresas de saneamento (no uso final de força motriz), a fim de verificar a sua conformidade com relação às diretrizes do PIMVP, quanto as boas práticas de M&V executadas.

1.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos, pode-se elencar os seguintes:

- Analisar as opções do PIMVP adotadas, de acordo com a facilidade de implementação e adequação ao uso final do projeto.

- Verificar a consideração de variáveis independentes e modelos de regressão, que explicam o consumo de energia elétrica dos usos finais envolvidos.
- Investigar a inclusão de fatores estáticos e efeitos interativos e a consideração destes nas alterações do consumo de energia elétrica.
- Identificar as fronteiras de medição e os parâmetros medidos e estimados, bem como, os períodos de medição dos parâmetros, conforme as opções do PIMVP adotadas.
- Verificar como se deu o processo de amostragem dos equipamentos medidos, e também, se foram realizados ajustes ao período da linha de base.
- Identificar as possíveis causas das divergências entre os resultados de economia previstos e realizados e o impacto econômico que causam, principalmente entre a Relação Custo-Benefício (RCB) prevista e realizada do projeto.
- Salientar a importância de uma metodologia de M&V padronizada, de acordo com os usos finais, a fim de evitar disparidade de resultados entre projetos semelhantes.

1.3 Justificativa do trabalho

Dados da IEA (2018b) informam que a demanda global por energia apresentou um crescimento de 2% em 2017, após dois anos de baixa evolução. Em contrapartida, a intensidade energética global diminuiu 1,7% no mesmo ano, consistindo no melhor indicador anual da década. No entanto, a demanda por energia teria sido maior, caso não houvesse os avanços provenientes da eficiência energética. Desde 2000, os benefícios proporcionados pela eficiência energética nas principais economias do mundo, compensaram mais de um terço do aumento nas atividades de uso de energia. A maioria dos resultados foi obtida a partir dos setores industrial e de edifícios. Globalmente, os ganhos em eficiência desde o ano 2000, evitaram a utilização de energia em 12% em 2017.

Conforme o Anuário Estatístico de Energia Elétrica (EPE, 2018), no ano de 2017 o consumo de energia elétrica no Brasil cresceu 1,2% em relação a 2016, alcançando 467 TWh, o que mantém o Brasil entre os dez maiores consumidores de energia elétrica do mundo. Embora mecanismos de eficiência energética sejam implementados desde o início da década de 1980 no Brasil, dentre os 25 principais países consumidores de energia do mundo, o país ocupa a vigésima posição, no ranking de eficiência energética de 2018 da ACEEE (*American Council for an Energy Efficiency Economy*), conforme Figura 1.1.

Este ranking considera variáveis como, esforço nacional em prol do tema (mudanças na intensidade energética de 2010 a 2015, investimentos em eficiência energética, objetivos de

economia de energia, eficiência de usinas termelétricas, créditos tributários e programas de empréstimos, investimentos em P&D de eficiência energética, tamanho do mercado de ESCOs, política de eficiência hídrica e disponibilidade de dados), eficiência em prédios e instalações (normas de equipamentos, códigos de construção residencial e comercial, criação de políticas de modernização, classificação e divulgação dos edifícios, rotulagem de aparelhos e equipamentos, intensidade energética em edifícios residenciais e edifícios comerciais), indústria (intensidade energética do setor industrial, acordos voluntários de desempenho energético com fabricantes, auditorias energéticas obrigatórias, compartilhamento de cogeração na capacidade instalada total, política para incentivar a cogeração, padrões mínimos de eficiência para motores elétricos, política para incentivar a gestão de energia, investimento em P&D em manufatura) e transportes (normas de economia de combustível para veículos leves, padrões de economia de combustível para caminhões pesados, milhas de veículos percorridas per capita, transporte de mercadorias por unidade de atividade econômica, intensidade energética do transporte de mercadorias, uso de transporte público, investimento em trânsito ferroviário versus rodovias, iniciativas de frete inteligentes) (ACEEE, 2018).

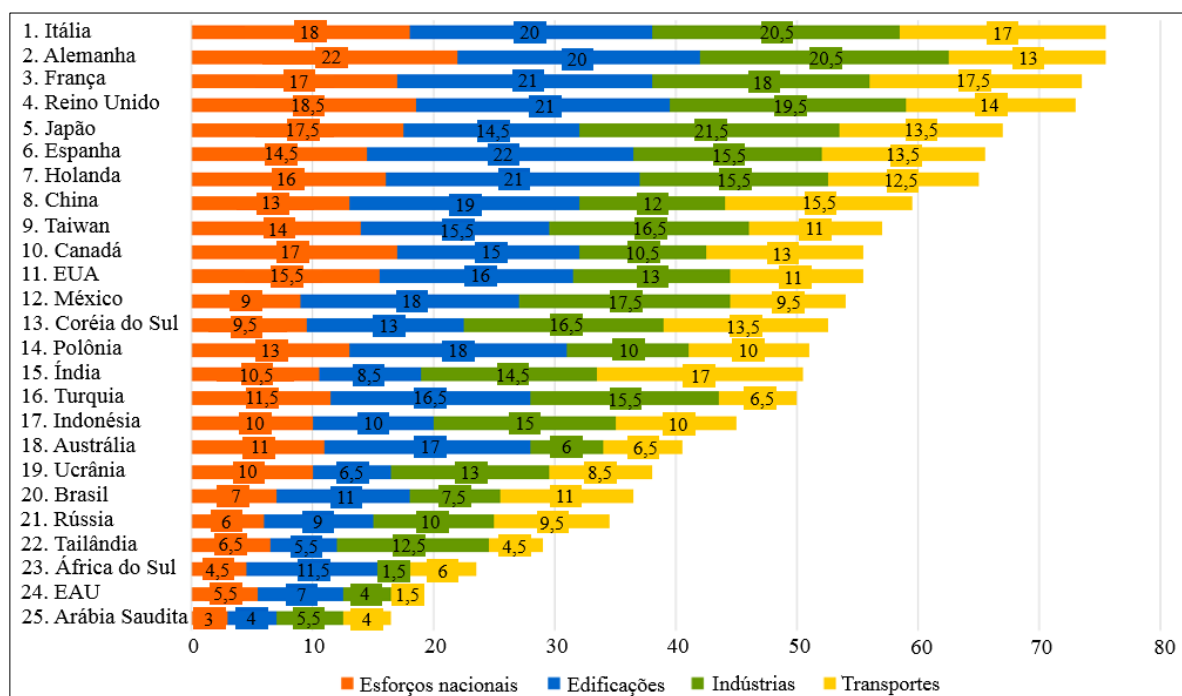


Figura 1.1 - Ranking da ACEEE em 2018 e pontuação por categoria
Fonte: Adaptado de ACEEE (2018)

Em contrapartida à precariedade da posição brasileira no ranking da ACEEE, o fomento ao mercado de eficiência energética tem vasto potencial a ser explorado em um país de dimensões continentais, como é o caso do Brasil (KÄSSMAYER; FRAXE NETO, 2016).

A aquisição de equipamentos eficientes, embora seja indicada, não consiste em garantia absoluta de ampliação da eficiência energética, pois a economia potencial obtida é oriunda, em grande parte, pela forma de utilização da energia (LEITE, 2010). Portanto, a avaliação das economias obtidas por meio de projetos de conservação de energia torna-se essencial para monitorar a eficácia das políticas de eficiência energética, pois auxilia na compreensão dos impactos futuros na demanda de energia. Além disso, é necessário efetuar uma avaliação confiável dos resultados de economia, tanto para justificar os investimentos, como para realizar os pagamentos em contratos de desempenho energético, garantindo a eficácia das medidas de conservação de energia adotadas (LINDELÖF *et al.*, 2018).

Faz-se importante alinhar as estratégias de mecanismos de fomento à eficiência energética com a política energética do país, por meio de uma maior interação com as diretrizes propostas no Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf). Para identificar os impactos provenientes de mecanismos voltados à conservação de energia no país, nas metas de longo prazo estipuladas nos instrumentos de planejamento energético, é fundamental que haja processos confiáveis de aferição dos resultados, o qual colabora no registro e monitoramento da eficácia das políticas de eficiência energética.

As economias atribuídas às AEEs contribuem como alternativas ao suprimento de energia elétrica, sendo incluídas no planejamento energético nacional de longo prazo, permitindo postergar os investimentos de expansão do setor elétrico. Investimentos em eficiência energética são viáveis e vantajosos, do ponto de vista da expansão do sistema elétrico, pois os custos de energia e demanda evitados são menores do que o Custo Marginal de Expansão (CME), o qual corresponde ao custo associado ao atendimento de uma demanda adicional de energia na expansão do parque gerador, com a finalidade de otimizar o seu crescimento (ELETROBRAS, 1985). Assim, os crescentes investimentos em eficiência energética atuam como importantes vetores para o atendimento à demanda futura de energia.

Por fim, este trabalho pretendeu contribuir com a literatura correlata no campo de M&V de resultados de projetos de eficiência energética, visto que são escassos os trabalhos nacionais publicados sobre este tema. Além disso, pretendeu-se promover a discussão a respeito da necessidade de padronização da metodologia adotada para a etapa de M&V, bem como da adoção de protocolos e diretrizes coerentes com a AEE executada, a fim de reportar resultados de economias confiáveis.

1.4 Estrutura do trabalho

Para avaliar os procedimentos relacionados às atividades de M&V de resultados em eficiência energética, executados no âmbito do PEE, a presente dissertação de mestrado está organizada em cinco capítulos.

O primeiro capítulo introduz o tema da pesquisa, contextualizando a importância da eficiência energética no cenário energético, econômico e ambiental, com foco nas atividades de M&V de resultados, destacando a relevância de procedimentos que asseguram a confiabilidade dos resultados reportados, baseadas em práticas recomendadas por protocolos reconhecidos internacionalmente. Ademais, apresenta-se a proposta de desenvolvimento da dissertação, os objetivos e a justificativa do trabalho.

No segundo capítulo são apresentados os principais fundamentos sobre medição e verificação de resultados, abordando protocolos de M&V que fornecem técnicas para aferição de economias, com foco no PIMVP; as opções de M&V utilizadas para tal, incluindo critérios de seleção da melhor opção para alguns casos; e o estabelecimento dos períodos de linha de base e de determinação da economia, incluindo parâmetros de ajustes. Apresenta-se ainda, a descrição do PEE; as normas e procedimentos que regem o programa, incluindo considerações de M&V; resultados realizados e principais ações de eficiência energética, de acordo com as tipologias de projeto. Também é efetuada uma contextualização sobre o histórico de políticas de eficiência energética no Brasil, desde o choque do petróleo até os dias atuais, destacando a importância do PEE como principal fonte de recursos para atingir metas de economia de energia, estabelecidas em instrumentos de planejamento energético.

No terceiro capítulo, são descritos os procedimentos metodológicos da pesquisa, com a identificação dos estudos de caso para as três distintas tipologias de projetos; especificação dos dados utilizados; os critérios de seleção dos dados; os usos finais abordados dentre as tipologias de estudo; as análises dos resultados gerais previstos e realizados, bem como, as análises referentes às atividades de M&V de cada tipologia de projeto abordada.

No quarto capítulo, são apresentados os resultados obtidos com base em análises efetuadas na amostra de projetos de eficiência energética selecionada. São apresentados resultados gerais dos projetos por tipologia, por uso final e por região geográfica. Apresenta-se ainda, os resultados referentes às atividades de M&V, como as opções de M&V adotadas por uso final e por região, os parâmetros medidos e estimados, os períodos de medição, a consideração de variáveis independentes, fatores estáticos e efeitos interativos, a elaboração de modelo de regressão correlacionando as variáveis independentes com o consumo de energia

elétrica, possíveis ajustes efetuados à linha de base, fronteira de medição, os procedimentos considerados para amostragem, além da quantificação dos equipamentos eficientes implementados pelos projetos.

No quinto capítulo, apresenta-se as considerações finais do trabalho, bem como, sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo é apresentada uma contextualização de políticas públicas e legislações voltadas ao setor de eficiência energética à nível nacional, e posteriormente, são descritos os principais pressupostos teóricos relacionados à medição e verificação de resultados de ações de conservação de energia, além da descrição detalhada do Programa de Eficiência Energética executado pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica brasileiras.

2.1 Histórico de políticas em eficiência energética no Brasil

A partir da deflagração da primeira crise do petróleo, na década de 1970, a importância sobre a relação entre questões energéticas e ambientais começou a ser discutida. Antes deste acontecimento, não havia uma consciência disseminada sobre os impactos ambientais oriundos da geração de energia elétrica, principalmente devido ao preço irrisório da energia elétrica praticado. Os países industrializados iniciaram a busca pela diminuição da dependência em relação ao petróleo e derivados, primeiramente com a substituição de energéticos, e colocando em pauta, posteriormente, os investimentos em eficiência energética e fontes renováveis de energia, de modo a auxiliar na promoção da segurança energética das nações (SOUZA; GUERRA; KRUGER, 2011).

Com a necessidade de promover segurança energética e substituir a dependência ao petróleo importado, em 1975 deu-se a criação do Programa Nacional do Alcool (PROÁLCOOL), que propôs a substituição de combustíveis veiculares derivados do petróleo por álcool combustível, visando o aumento da produção doméstica de combustível, como uma mercadoria estratégica. Dentre os programas que iniciaram na década de 1970, o PROÁLCOOL figurou entre os de maior sucesso e duração. Atualmente, a matriz energética brasileira possui uma expressiva participação de produtos derivados da cana-de-açúcar, sendo a principal biomassa para produção de energia no país (JANNUZZI; SWISHER; REDLINGER, 2018).

Entretanto, por volta de 1979, com a segunda crise do petróleo, houve a retomada da necessidade de conservação energética, a fim de atender a demanda de forma econômica e sustentável. Neste contexto, a eficiência energética alcançou posição de instrumento privilegiado ao atendimento de parte da demanda energética, de modo econômico e sustentável. Nos modelos de planejamento da expansão da geração, as medidas de conservação de energia podem ser tratadas como “usinas virtuais”, ou seja, como opções de oferta (virtual) de energia.

Entretanto, necessitam ser caracterizadas devidamente como tais, com a definição de potenciais, custos e vida útil (BRASIL, 2009; BRASIL, 2011a).

A primeira iniciativa do poder público para incentivar medidas de eficiência energética deu-se em 1981, com a criação do Programa CONSERVE (Portaria MIC/GM46), no âmbito do Ministério da Indústria e Comércio (MIC). O CONSERVE tinha por objetivo promover a conservação de energia na indústria, o desenvolvimento de produtos e processos mais eficientes, estimular a substituição de energéticos importados por fontes alternativas nacionais e impulsionar a conservação e a substituição do óleo combustível consumido na indústria. Em seu primeiro ano, o CONSERVE foi responsável pela diminuição de cerca de 18% no consumo industrial de óleo combustível (SOUZA; GUERRA; KRUGER, 2011).

No ano seguinte, o Decreto nº 87.079/1982 aprovou as diretrizes para o Programa de Mobilização Energética (PME), o qual foi caracterizado por um conjunto de ações dirigidas para incentivar o uso de medidas de conservação de energia e, especialmente, substituir derivados de petróleo por fontes renováveis de energia. A principal prioridade do PME consistiu na conservação de energia (BRASIL, 2011a; ALTOÉ *et al.*, 2017).

Em 1984, o Instituto Brasileiro de Metrologia, Normalização e Qualidade (INMETRO), implementou o Programa de Conservação de Energia Elétrica em Eletrodomésticos. O programa foi reformulado em 1992, e passou a ser denominado Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). As suas atribuições iniciais foram preservadas, com a agregação de requisitos de segurança e estabelecimento de medidas para a definição de índices mínimos de eficiência energética (BRASIL, 2011a; ASSUNÇÃO; SCHUTZE, 2017).

O objetivo do PBE é promover a diminuição do consumo de energia por meio da prestação de informações acerca da eficiência energética de equipamentos por meio de etiquetas (Figura 2.1). A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) é responsável por reduzir a assimetria de informações entre os fabricantes de equipamentos e os consumidores, além de estimular a competitividade na indústria, a qual deve fabricar equipamentos com níveis cada vez mais elevados de eficiência (BRASIL, 2011a; ASSUNÇÃO; SCHUTZE, 2017). Exemplos de equipamentos avaliados pelo PBE que recebem a ENCE são refrigeradores, congeladores, condicionadores de ar, lavadoras de roupas, fogões e fornos domésticos a gás, fornos elétricos, fornos de micro-ondas, aquecedores de água a gás, coletores solares, lâmpadas, televisores, torneiras elétricas, chuveiros elétricos, ventiladores, entre outros.

Os equipamentos etiquetados pelo PBE que demonstram o melhor desempenho energético em sua categoria, também podem ser reconhecidos com um selo de eficiência energética, o Selo PROCEL, para equipamentos elétricos domésticos, e o Selo CONPET, para

equipamentos domésticos a gás e veículos leves, conforme a Figura 2.1 (ASSUNÇÃO; SCHUTZE, 2017).

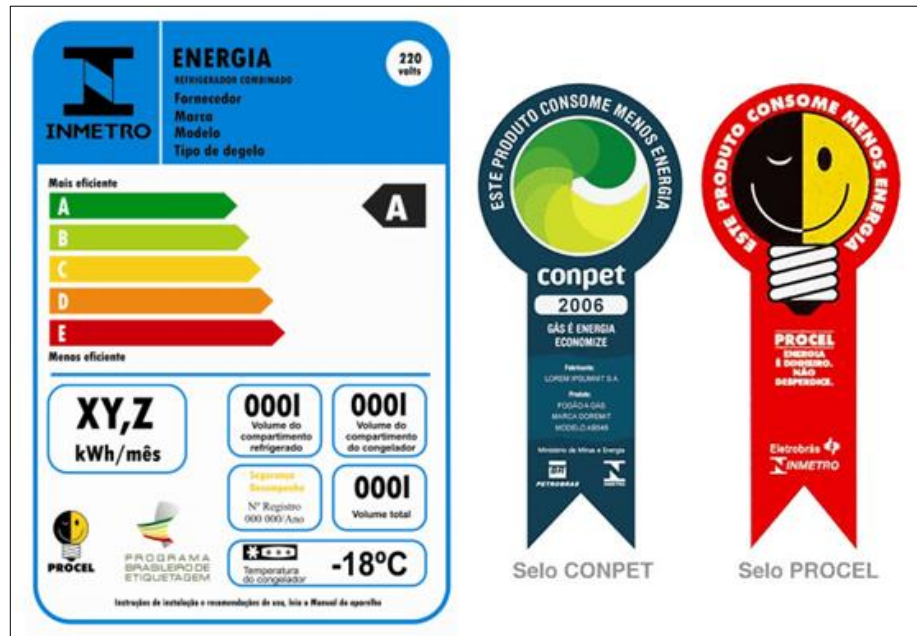


Figura 2.1 - Modelo de ENCE (para refrigeradores), selo CONPET e selo PROCEL
Fonte: Brasil (2015) e INMETRO (2019)

Em 1985, por meio de uma atuação abrangente e coordenada, foi promulgada a Portaria Interministerial nº 1.877/1985, do Ministério de Minas e Energia (MME) e Ministério da Indústria e Comércio (MIC), instituindo o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). A finalidade do PROCEL consiste em integrar ações visando à conservação de energia elétrica no país, dentro de uma visão abrangente e coordenada, combatendo o seu desperdício em diversos segmentos da economia. A atuação inicial do PROCEL caracterizou-se pela publicação e distribuição de manuais destinados à conservação de energia elétrica entre vários setores sociais. Algumas iniciativas, em termos de estímulo ao desenvolvimento tecnológico e à adequação de legislação e normas técnicas, também ocorreram nessa época. Somente a partir de 1990, o PROCEL lançou projetos de demonstração e cursos técnicos para formar profissionais com competência específica na área (BRASIL, 2011a). Nesse contexto, o programa desenvolve ações de eficiência energética em vários segmentos da economia, tendo como principais áreas de atuação:

- a) Equipamentos (Selo PROCEL): Identificação, por meio do Selo PROCEL, dos equipamentos e eletrodomésticos mais eficientes, o que induz ao desenvolvimento e ao aprimoramento tecnológico dos produtos disponíveis no mercado brasileiro.

- b) Edificações (PROCEL Edifica): Promoção do uso eficiente de energia no setor de construção civil, em edificações residenciais, comerciais e públicas, por meio da disponibilização de recomendações especializadas e simuladores.
- c) Iluminação pública (PROCEL Reluz): Apoio a prefeituras no planejamento e implementação de projetos de substituição de equipamentos e melhorias na iluminação pública e sinalização semafórica.
- d) Poder público (PROCEL EPP): Ferramentas, treinamento e auxílio no planejamento e implementação de projetos que visem ao menor consumo de energia em municípios e ao uso eficiente de eletricidade e água na área de saneamento.
- e) Indústria e Comércio (PROCEL Indústria): Treinamentos, manuais e ferramentas computacionais voltados para a redução do desperdício de energia nos segmentos industrial e comercial, com a otimização dos sistemas produtivos.
- f) Conhecimento (PROCEL Educação): Elaboração e disseminação de informações qualificadas em eficiência energética, seja por meio de ações educacionais no ensino formal ou da divulgação de dicas, livros, softwares e manuais técnicos.

Considerando os resultados acumulados do PROCEL, entre 1986 a 2018, obteve-se uma economia de energia total de aproximadamente 151,6 bilhões de kWh (ELETROBRAS, 2019). Os ganhos energéticos anuais decorrentes das ações do PROCEL, desde 2014, são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Resultados do PROCEL no período de 2014 a 2018

Resultados anuais	2014	2015	2016	2017	2018
Energia economizada (bilhões de kWh)	10,52	11,68	15,15	21,20	22,99
Demanda retirada da ponta (MW)	4.022	4.453	8.375	6.887	7.257
Emissões evitadas (milhão tCO ₂ eq.)	1,43	1,45	1,24	1,97	1,70
Custo anual evitado (bilhões)	R\$ 1,18	R\$ 1,62	R\$ 2,92	R\$ 3,79	R\$ 5,38
Investimentos aplicados (milhões)	R\$ 18,00	R\$ 17,09	R\$ 14,99	R\$ 15,74	R\$ 5,77

Fonte: Elaborado a partir de Eletrobras (2015, 2016, 2017, 2018, 2019)

Em 1991, foi instituído o Programa Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural (CONPET), por meio de Decreto Federal, e coube à Petrobras fornecer recursos técnicos, administrativos e financeiros ao Programa. Neste mesmo instrumento, as competências do PROCEL também foram revistas. O CONPET foi criado com a finalidade de estimular o uso racional de recursos energéticos no país, tendo o seu foco em fontes de energia não renováveis. Ficou determinado que as ações do programa serão supervisionadas pelo Grupo Coordenador do CONPET (GCC), a ser integrado por

representantes de diversos ministérios e das confederações da indústria e do comércio; e as ações do PROCEL serão supervisionadas pelo Grupo Coordenador de Conservação de Energia Elétrica (GCCE), de composição similar à do GCC (BRASIL, 2011a; ALTOÉ *et al.*, 2017).

Ainda na década de 90, houve a criação da ANEEL (Lei nº 9.427/1996), tendo o Decreto nº 2.335/1997 estabelecido as diretrizes, atribuições e estrutura básica da ANEEL. A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) foi criada pela Lei nº 9.478/1997 (conhecida como a Lei do Petróleo), a qual também dispõe sobre a Política Energética Nacional (PEN). Ambas as agências possuem atribuições que incluem o incentivo ao uso racional das fontes de energia, visando a proteção ambiental e a promoção da conservação energética, de modo a contribuir para a regulamentação das ações (BRASIL, 2011a).

No início dos anos 2000, foram estabelecidos dois importantes instrumentos legais para a eficiência energética no país, sendo a Lei nº 9.991/2000 e a Lei nº 10.295/2001. A Lei nº 9.991/2000 estabeleceu o Programa de Eficiência Energética (PEE) das distribuidoras de energia elétrica, o qual dispõe sobre a realização de investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D) e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica.

A Lei de Eficiência Energética (Lei nº 10.295/2001), principal marco regulatório no país em matéria de eficiência energética, lançou a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia. A sua criação complementou os programas existentes ao estabelecer padrões mínimos de eficiência ou máximos de consumo energético, para máquinas e equipamentos consumidores de energia fabricados ou comercializados no Brasil, bem como, o desenvolvimento de mecanismos para a promoção da eficiência energética nas edificações construídas no país (BRASIL, 2011a). Destaca-se também, o Decreto nº 4.059/2001 (o qual regulamenta a lei de eficiência energética), o qual instituiu o Comitê Gestor de Indicadores e de Níveis de Eficiência Energética (CGIEE), composto por membros de ministérios (MME, MDIC e MCT), agências reguladoras nacionais (ANEEL e ANP), um representante de universidade e um cidadão brasileiro (especialistas em matéria de energia), com mandatos de dois anos (SOUZA *et al.* 2009). A Tabela 2.2 apresenta o histórico de regulamentações da Lei nº 10.295/2001.

Tabela 2.2 - Histórico de regulamentações da Lei nº 10.295/2001

Equipamentos	Portarias/Decretos	Objetivo
Motores Elétricos de Indução Trifásicos	Decreto nº 4.508/2002	Nível mínimo de eficiência energética
	Portaria Interministerial MME-MCT-MDIC nº 553/2005	Programa de Metas
	Portaria Interministerial MME-MCTIC-MDIC nº 01/2017	Programa de Metas
Lâmpadas Fluorescentes Compactas	Portaria Interministerial MME-MCT-MDIC nº 132/2006	Índice mínimo de eficiência energética
	Portaria Interministerial MME-MCT-MDIC nº 1.008/2010	Programa de Metas
Refrigeradores e Congeladores	Portaria Interministerial MME-MCT-MDIC nº 362/2007	Nível máximo de consumo de energia elétrica
	Portaria Interministerial MME-MCT-MDIC nº 326/2011	Programa de Metas
	Portaria Interministerial MME-MCTIC-MDIC nº 01/2018	Programa de Metas
Fogões e Fornos a Gás	Portaria Interministerial MME-MCT-MDIC nº 363/2007	Índice mínimo de eficiência energética
	Portaria Interministerial MME-MCT-MDIC nº 325/2011	Programa de Metas
Condicionadores de Ar	Portaria Interministerial MME-MCT-MDIC nº 364/2007	Índice mínimo de eficiência energética
	Portaria Interministerial MME-MCT-MDIC nº 323/2011	Programa de Metas
	Portaria Interministerial MME-MCTIC-MDIC nº 02/2018	Programa de Metas
Aquecedores de Água e Gás	Portaria Interministerial MME-MCT-MDIC nº 298/2008	Índice mínimo de eficiência energética
	Portaria Interministerial MME-MCT-MDIC nº 324/2011	Programa de Metas
Reatores Eletromagnéticos para Lâmpadas Vapor de Sódio e Vapor Metálico	Portaria Interministerial MME-MCT-MDIC nº 959/2010	Nível mínimo de eficiência energética
Lâmpadas Incandescentes	Portaria Interministerial MME-MCT-MDIC nº 1.007/2010	Nível mínimo de eficiência energética
Transformadores de Distribuição	Portaria Interministerial MME-MCTI-MDIC nº 104/2013	Requisitos mínimos de desempenho
	Portaria Interministerial MME-MCTIC-MDIC nº 03/2018	Programa de Metas
Ventiladores de Teto	Portaria Interministerial MME-MCTIC-MDIC nº 02/2017	Nível mínimo de eficiência energética

Fonte: Elaborado a partir de Brasil (2002, 2005, 2006, 2007a, 2007b, 2007c, 2008, 2010a, 2010b, 2010c, 2011b, 2011c, 2011d, 2011e, 2013, 2017a, 2017b, 2018a, 2018b, 2018c)

Conforme Haddad (2002a), a Lei nº 10.295/2001 preenche uma lacuna à medida que contribui no combate ao desperdício de energia no Brasil, introduzindo equipamentos de maior

eficiência energética no mercado nacional, o que agrega valor e promove o desenvolvimento tecnológico. O grande avanço trazido pela Lei nº 10.295/2001, de tornar compulsórios os limites mínimos de eficiência energética, submete todos os fabricantes e importadores de aparelhos consumidores de energia a adotarem medidas de forma a obedecerem às regulamentações específicas estabelecidas por meio de Portarias Interministeriais (Tabela 2.2), promovendo a eliminação de equipamentos ineficientes do mercado (SOUZA *et al.* 2009).

Em complemento à criação de programas e leis, o lançamento do Plano Nacional de Eficiência Energética (PNEf) foi uma importante medida para apoiar o planejamento e execução de medidas de conservação de energia no país. O PNEf, publicado em 2011 pelo MME, possui o objetivo de orientar as ações a serem implementadas no sentido de alcançar as metas de economia de energia no contexto do planejamento energético do país. A meta global adotada consiste em uma redução de 10% (5% a partir do progresso autônomo e 5% por meio do progresso induzido) do consumo de energia elétrica para o ano 2030, sendo que se pretende uma redução de aproximadamente 106.623 GWh ao final do período, o que percentualmente corresponde à 10,37% do consumo base (1.027.896 GWh) do ano 2010 (BRASIL, 2011a).

Com a promulgação da Lei nº 13.280/2016, o PROCEL passou a contar com uma nova fonte de recursos, sendo prevista na Lei a definição de planos anuais de aplicação desses recursos, os quais devem ser elaborados e aprovados, após processo de consulta pública, por representantes do governo e agentes do setor energético nacional, o que acarretará em maior transparência e credibilidade aos investimentos realizados.

Recentemente, de 03/05/2018 a 16/06/2018, a ANEEL realizou a Consulta Pública nº 7/2018, a fim de obter contribuições à proposta de Leilão de Eficiência Energética, bem como, do conjunto de metodologias e premissas utilizado na Análise de Impacto Regulatório (AIR) de projeto piloto a ser realizado no estado de Roraima. O estado é isolado do Sistema Interligado Nacional (SIN), e, portanto, é dependente da importação de energia e da geração local, normalmente a diesel, consistindo em uma fonte de geração de alto custo e poluente. Até o momento de finalização desta dissertação (janeiro/2020), a ANEEL aprovou a Consulta Pública nº 047/2019 (em 17/12/2019), com o intuito de obter subsídios para o aprimoramento do edital do Leilão de Eficiência Energética nº 4/2020-ANEEL, cujo objeto é a contratação de Agente para o desenvolvimento de AEEs, com vistas à redução do consumo de energia elétrica no município de Boa Vista/Roraima (ANEEL, 2019).

No modelo do Leilão de Eficiência Energética, a ANEEL definiria o montante anual do consumo de energia que se pretende reduzir ao longo do programa. Os empreendedores competiriam pelo menor preço, comprometendo-se com a redução de um percentual desse

montante de energia evitada. Os vencedores do leilão consistiriam em uma nova categoria de agente regulado, intitulado Agente Redutor de Consumo (ARC), assemelhando-se a geradores tradicionais, porém, seriam remunerados pela economia, em vez da produção de energia elétrica. Para aferir de modo confiável o desempenho do programa, o leilão predefiniria os métodos de M&V, conforme a tipologia das ações. O estudo estima, no cenário moderado, um potencial de efficientização de 4 MW médios anuais a partir de ações nos segmentos residencial, comercial, poder público e instalação de geração solar distribuída. A proposta consiste em que cada competidor tenha que ofertar pelo menos 0,5 MW médio e no máximo 1 MW médio, assegurado o mínimo de quatro ARCs vencedores (ANEEL, 2018a).

É possível identificar distintas iniciativas de promoção à conservação de energia no país, que englobam a diversidade de setores e diferentes segmentos da sociedade, contudo, as AEEs encontram-se dispersas em organismos com ações distintas. É necessário que haja maior integração e cooperação entre os programas, para consequentemente, ser possível atingir as metas previstas para a eficiência energética no PNEf (BRASIL, 2011a).

2.2 Medição e verificação de resultados em eficiência energética

Denomina-se medição e verificação o processo de utilização de medições para determinar, de modo seguro, a economia real obtida dentro de uma instalação individual por um programa de gestão de energia. Uma vez que a economia representa a ausência do consumo de energia, não há como realizar a sua medição diretamente. Assim, a economia é determinada pela comparação do consumo medido antes e depois da implementação de uma ação de eficiência energética, considerando os ajustes adequados às alterações nas condições de uso (EVO, 2012).

Conforme o PIMVP (EVO, 2012), as atividades de M&V consistem nas ações de instalação, calibração e manutenção de medidores; coleta e tratamento de dados; desenvolvimento de método de cálculo e estimativas aceitáveis; cálculos com os dados medidos; relatórios, garantia de qualidade e verificação de relatórios por terceiros.

O PIMVP indica que as técnicas de M&V podem ser utilizadas por proprietários das instalações, onde estão sendo executadas AEEs, ou ainda, pelos investidores do projeto de eficiência energética. Os principais objetivos idealizados ao conduzir o processo de M&V, consistem em, aumentar a economia de energia; documentar transações financeiras; aumentar o financiamento para projetos de eficiência energética; gerir orçamentos energéticos; aumentar o valor dos créditos de redução de emissões; apoiar a avaliação de programas de eficiência

regionais, e por fim, aumentar a compreensão do público acerca da gestão de energia como ferramenta de política pública (EVO, 2012).

O expressivo potencial existente no mercado da eficiência energética necessita de financiamento para ser desenvolvido e para tal, exige-se mecanismos que assegurem a viabilidade dos resultados. A adoção de boas práticas de M&V possibilita a compreensão e gestão dos resultados de projetos de eficiência energética, por ambas as partes do contrato, além de permitir também, a distribuição equilibrada de custos e riscos, assegurando o retorno dos investimentos para as partes envolvidas (ROCHA, 2009).

As atividades de M&V para aferição de resultados de economia de energia são usualmente orientadas pelo PIMVP (EVO, 2012), entretanto, existem outros protocolos (detalhados na seção 2.3) para a M&V de economia de energia similares ao PIMVP, em que todos compartilham o mesmo objetivo comum, de avaliar o desempenho de uma medida de conservação de energia. Visto que a etapa de M&V demanda recursos expressivos para ser satisfatoriamente implementada, torna-se essencial selecionar a metodologia que melhor se adapta ao projeto de eficiência energética em questão, ampliando a confiabilidade dos resultados e minimizando as incertezas e custos envolvidos no processo.

Para a execução de uma adequada prática de aferição dos resultados de economias, os seguintes princípios fundamentais de M&V devem ser observados, conforme recomendado pelo PIMVP (EVO, 2012):

- a) **Completo:** Todos os efeitos de um projeto devem ser levados em consideração ao reportar a economia de energia. As atividades de M&V devem utilizar medições para quantificar os efeitos significativos, enquanto estimam todos os outros.
- b) **Conservadorismo:** Quando necessário emitir pareceres e estimativas sobre quantidades incertas, os procedimentos de M&V devem ser concebidos para avaliar a economia “por baixo”, ou seja, a realização de uma análise conservadora.
- c) **Consistência:** O relatório da eficácia energética de um projeto deve ser consistente entre diferentes tipos de projetos de eficiência energética, distintos profissionais de gestão energética para qualquer projeto, distintos períodos para o mesmo projeto, projetos de eficiência energética e projetos de geração de nova energia.
- d) **Precisão:** Os relatórios de M&V devem ser tão precisos quanto o orçamento de M&V permitir. Os custos envolvidos na M&V devem ser reduzidos em relação ao valor monetário da economia a ser avaliada, bem como, ser consistentes com as implicações financeiras de reportar com sobreinformação ou subinformação do desempenho

energético do projeto. Os compromissos sobre a precisão devem ser acompanhados de maior conservadorismo em qualquer estimativa ou parecer.

- e) **Relevância:** A determinação da economia deve medir os parâmetros de desempenho energético mais importantes ou menos conhecidos, enquanto outros parâmetros menos críticos ou previsíveis podem ser estimados.
- f) **Transparência:** Todas as atividades de M&V devem ser claras e completamente divulgadas. A divulgação completa deve incluir a apresentação de todos os elementos definidos para o conteúdo de um Plano de M&V e de um relatório de economia.

Existem dois períodos de medição, distintos quanto ao objetivo a que servem. O primeiro período, antes da implementação da AEE, consiste no período de linha de base, cujo objetivo é estabelecer o modelo de consumo de energia. Para documentar adequadamente o impacto de uma AEE, seu efeito energético deve ser separado do efeito energético oriundo de outras ações paralelas. A linha de base está concluída quando de posse de medições consistentes para o estabelecimento de um modelo adequado, que possa representar o consumo da instalação em todas as condições que possa operar. Este período deve cobrir um ciclo de funcionamento completo, desde o consumo máximo de energia elétrica até o mínimo. O modelo de consumo da linha de base é, então, uma relação matemática que relaciona a energia com as variáveis independentes, em geral, resultante de uma análise de regressão linear (EVO, 2012).

O segundo período, após a implementação da AEE, consiste no período de determinação da economia, que medirá as variáveis independentes para introduzi-las no modelo e calcular a linha de base ajustada, e ainda, realizará a medição da energia para subtrair da linha de base ajustada e calcular a economia. O período de determinação da economia deve englobar pelo menos um ciclo de funcionamento normal dos equipamentos ou instalação, para caracterizar completamente a eficácia da economia em todos os modos de funcionamento normais.

A duração de qualquer período de determinação da economia deve ser determinada com a devida consideração pela duração da AEE e pela probabilidade de degradação da economia originalmente obtida ao longo do tempo. Os fatores estáticos deverão ser acompanhados e ajustada a linha de base, caso for necessário. A conclusão desta etapa ocorre quando não houver mais dúvidas sobre o quanto a AEE implementada gerou de economia para a instalação (ANEEL, 2014).

A Figura 2.2 exemplifica os períodos de medição descritos anteriormente, mostrando o consumo da linha de base ajustado, conforme alteração no volume de produção após a implementação de uma AEE, tornando a comparação entre os períodos equânime.

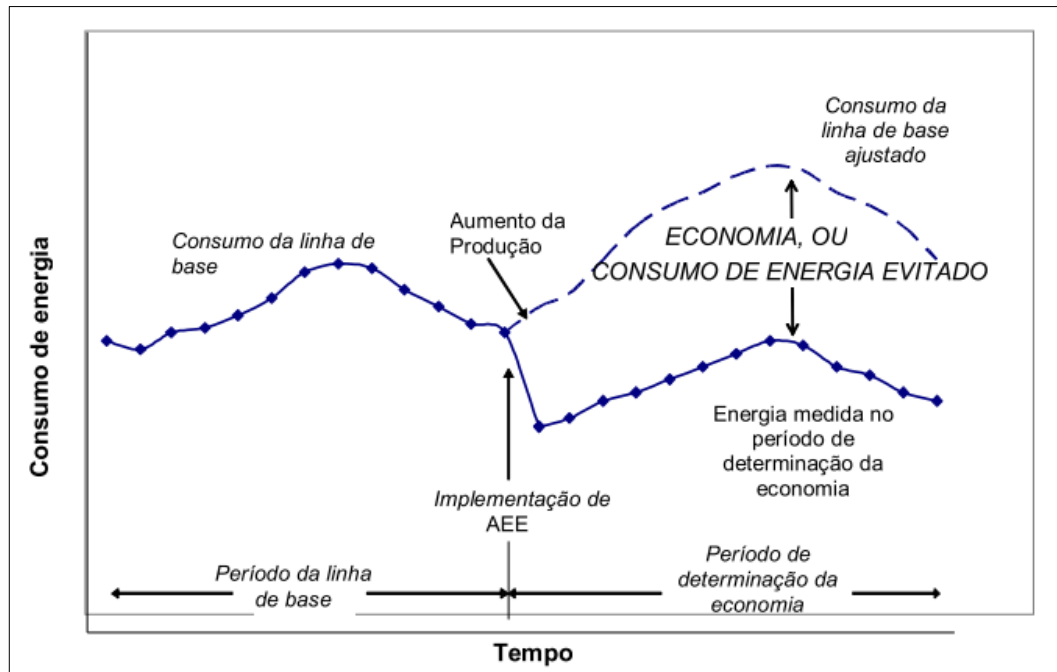


Figura 2.2 - Exemplo de processo de determinação de economia de energia
Fonte: EVO (2012)

Conforme a Figura 2.2, após a instalação da AEE, a relação da linha de base foi utilizada para calcular a quantidade de energia que teria sido utilizada por mês, caso não houvesse a implementação de uma AEE (designada por linha de base ajustada). A economia, ou o consumo de energia evitado, consiste na diferença entre o consumo da linha de base ajustado e a energia que foi realmente medida, durante o período de determinação da economia. Sem a consideração do ajuste do aumento na produção, o saldo entre o consumo da linha de base e o consumo do período de determinação da economia de energia teria sido muito inferior, fornecendo uma subinformação acerca do efeito da AEE executada.

Desse modo, é necessário separar os efeitos energéticos da implementação de uma AEE dos efeitos de outras mudanças simultâneas, responsáveis por afetar os sistemas que usam energia. Sem a consideração dos ajustes no modelo, os resultados da diferença entre o consumo da linha de base e o consumo do período de determinação da economia seriam incoerentes (EVO, 2012). A comparação entre o antes e o depois do consumo de energia ou da demanda deve ser feita sobre uma base consistente, podendo-se utilizar a Equação 2.1:

$$Economia = (C_{LB} - C_{DE}) \pm A \quad (2.1)$$

Em que C_{LB} é o consumo (ou demanda) no período de linha de base, C_{DE} é o consumo (ou demanda) no período de determinação da economia, e “A” são os ajustes.

O termo "A" que consta na equação geral é utilizado para ajustar o consumo ou a demanda dos períodos da linha de base e de determinação da economia, sob um conjunto comum de condições. O termo faz distinção entre relatórios de economia reais e simples comparação de custo ou utilização antes e depois da implementação de uma AEE. Sem tais ajustes, simples comparações de custos de fornecimento de energia reportam apenas alterações de custo, e não o verdadeiro desempenho energético de um projeto. Para reportar adequadamente a economia, os ajustes devem contemplar as diferenças nas condições entre o período da linha de base e os períodos de determinação da economia (EVO, 2012).

Existem dois tipos de ajustes possíveis, e ambos devem ser calculados a partir de fatos físicos identificáveis acerca das características que regem a energia dos equipamentos dentro da fronteira de medição. Consistem nos ajustes de rotina e nos ajustes não de rotina. Os ajustes de rotina referem-se a quaisquer fatores que controlam a energia, em relação aos quais se espera que sejam modificados periodicamente durante o período de determinação da economia (como exemplo, o clima ou o volume de produção). Pode-se utilizar uma variedade de técnicas para definir a metodologia de ajuste, e estas podem ser tão simples como um valor constante (sem ajuste), ou tão complexas como várias equações não-lineares, de parâmetros múltiplos, cada uma correlacionando a energia com uma ou mais variáveis independentes (EVO, 2012). Os ajustes não de rotina referem-se aos fatores que regem o uso da energia, em relação aos quais não há expectativa de que se modifiquem (como exemplo, o tamanho da instalação, a concepção e o funcionamento dos equipamentos instalados, o número semanal de turnos de produção ou o tipo de ocupantes). Estes fatores estáticos devem ser monitorados para detectar alguma alteração durante o período de determinação da economia (EVO, 2012).

Comprovar a eficácia de uma medida de conservação de energia é um processo difícil, pois muitos fatores podem influenciar o consumo de energia de um edifício, e estes devem ser considerados antes e após a instalação de uma AEE (LINDELÖF *et al.*, 2018).

Uma variável independente consiste em um parâmetro que pode mudar regularmente e causar impacto mensurável no consumo de energia de um sistema ou instalação, e considera-se que as variáveis independentes mais comuns são o clima, o volume de produção e a ocupação de uma instalação (EVO, 2012).

Os fatores estáticos consistem em fatores que promovem variação no consumo da energia, mas que não foram considerados no modelo (pois espera-se que não ocorra variação destes). Pode-se citar como exemplo de fatores estáticos, o tamanho da instalação, a maior ou menor ocorrência de sombras ou insolação na fachada, e uma eventual reforma ou ampliação da instalação. Quando os fatores deixam de ser estáticos, torna-se necessária a adoção de ajustes

ao modelo, podendo ser necessário realizar novas medições. Este processo é conhecido por ajuste da linha de base, ou ainda, ajuste não de rotina ou não periódico (ANEEL, 2014).

Outro conceito importante a ser considerado, é a fronteira de medição, a qual delimita os fluxos de energia que estão sendo medidos, tanto na entrada (energia usada no sistema), quanto na saída (serviços da energia, variáveis independentes). A fronteira de medição não é uma fronteira geográfica (ANEEL, 2014).

Ainda há o efeito interativo, que é a consequência da AEE fora da fronteira de medição, e este deve ser ignorado ou estimado. Um exemplo clássico de efeito interativo é a diminuição da carga térmica para o condicionamento de ar provocada pela eficientização do sistema de iluminação, outro efeito interativo é a diminuição nas perdas dos condutores a montante dos medidores de eletricidade (ANEEL, 2014).

2.2.1 Opções de M&V conforme o PIMVP

O PIMVP fornece as opções A, B, C e D (apresentadas na Tabela 2.3) para a determinação das economias oriundas da implementação de uma AEE, correspondendo a diferentes abordagens, e, portanto, com diferentes níveis de incerteza, custo e metodologia (ARMANDO, 2011). A escolha entre as opções implica muitas considerações, inclusive o local da fronteira de medição (EVO, 2012).

A seleção da opção do PIMVP para a etapa de M&V, geralmente é determinada pela experiência do profissional responsável. O plano de M&V também é obtido pela experiência de profissionais de M&V e, como tal, pode estar longe de ser ideal, quando existem requisitos específicos de precisão e restrições de custo de M&V. Portanto, é necessário abordar formas científicas de selecionar as opções de M&V do PIMVP e otimizar os planos de M&V, sem comprometer a precisão dos resultados (XIA; ZHANG, 2013).

As abordagens de M&V dividem-se em duas categorias, consistindo na medição isolada da AEE e na medição global da instalação. Para métodos da medição isolada, considera-se apenas os equipamentos envolvidos ou os sistemas independentes do restante da instalação. Para métodos de medição global, o uso da energia de toda a instalação é significativo, enquanto a performance dos equipamentos é irrelevante. Assim, a seleção da opção de M&V mais adequada para uma AEE em questão, implica em muitas considerações, incluindo o local da fronteira de medição (ARMANDO, 2011).

A seleção das opções A, B ou D dá-se em situações em que é necessário levar em consideração o desempenho energético isolado da AEE, enquanto as opções C ou D permitem

determinar a economia ao nível da instalação no geral. Para a adoção da opção C, é necessário que a economia reportada seja superior à 10% do consumo total da instalação. Nota-se que a opção D pode ser aplicada em ambos os casos, entretanto, esta opção é comumente selecionada em metodologias de medição de toda a instalação (ARMANDO, 2011).

A Tabela 2.3 sintetiza as opções de estratégia de M&V recomendadas pelo PIMVP, e posteriormente, as opções são descritas em detalhes.

Tabela 2.3 - Visão geral das opções de M&V do PIMVP

Opção do PIMVP	Determinação da economia de energia	Exemplo de aplicação
Opção A - Medição isolada da AEE (medição dos parâmetros-chave): medições em campo dos parâmetros-chave e estimativa de parâmetros não selecionados para medição, sendo necessário justificar a estimativa	Cálculos de engenharia com dados das medições do consumo da linha de base e do período de determinação da economia e parâmetros estimados, sendo necessário considerar os ajustes de rotina e não de rotina	<i>Retrofit</i> de sistema de iluminação
Opção B - Medição isolada da AEE (medição de todos os parâmetros): medições em campo de todos os parâmetros ou variáveis independentes que afetam o consumo de energia	Medições do consumo da linha de base e do período de determinação da economia e/ou cálculos de engenharia, sendo necessário considerar os ajustes de rotina e não de rotina	Aplicação de inversor de frequência e controle de motor para ajustar o fluxo de uma bomba
Opção C - Toda a instalação: medição do consumo de energia em toda a instalação, sendo que medições de toda a instalação também são efetuadas durante o período de determinação da economia	Análise dos dados do medidor da linha de base de toda a instalação e do período de determinação da economia. Comparação de faturas pré e pós <i>retrofit</i> ou uma análise de regressão. Ajustes de rotina e não de rotina devem ser considerados	Programa de gestão de energia multifacetado, afetando muitos sistemas de uma instalação
Opção D - Simulação calibrada: simulação do consumo de energia de toda a instalação, por modelos matemáticos que modelam o desempenho energético real medido na instalação	A economia é determinada por simulação do consumo de energia, calibrada com medições disponíveis	Programa de gestão de energia multifacetado (dados indisponíveis para determinar a linha de base)

Fonte: Adaptado de EVO (2012)

A opção A, medição isolada da AEE, permite que a economia seja calculada por meio da medição de variáveis consideradas parâmetros-chave e da estimativa de outros parâmetros. A definição dos parâmetros que serão medidos ou estimados, deve considerar a contribuição de

cada parâmetro para a incerteza global da economia reportada. Os parâmetros-chave são capazes de definir o uso de energia dos sistemas afetados pela AEE e/ou o sucesso do projeto.

A frequência da medição de parâmetros-chave é dependente das variações esperadas para este parâmetro, e da duração do período de determinação da economia. As estimativas de parâmetros devem ser utilizadas quando é possível mostrar que as incertezas combinadas de todas as estimativas não afetarão de maneira significativa a economia global reportada pela AEE. As estimativas podem ser baseadas em dados históricos, como as horas de funcionamento registradas do período da linha de base, os dados publicados dos fabricantes dos equipamentos, testes laboratoriais, ou ainda, dados típicos do clima. Os valores estimados e a análise da sua importância devem ser incluídos e justificados no Plano de M&V (EVO, 2012).

Quando se conhece que determinado parâmetro é constante, e não se espera que venha a ser influenciado pela implementação da AEE, a medição deste parâmetro durante o período de determinação da economia é suficiente. A medição do período de determinação da economia de um parâmetro constante pode também ser considerada medição do seu valor do período da linha de base. Em resumo, quando um fator é significativo para avaliar o desempenho energético, este deve ser medido, enquanto outros fatores, podem ser estimados. Quando o cálculo da economia implica em subtrair de um parâmetro estimado um parâmetro medido, o resultado consiste em uma estimativa. Ou seja, se um parâmetro é medido durante o período de determinação da economia e é subtraído de um valor não medido para o mesmo parâmetro no período da linha de base, a diferença resultante é apenas uma estimativa (EVO, 2012).

Com a adoção da opção A, para o cálculo da economia, pode ser que não seja necessário considerar os ajustes de rotina ou não de rotina, dependendo do local da fronteira de medição, da natureza dos valores estimados, da duração do período de determinação da economia, ou do espaço de tempo entre as medições do período da linha de base e as medições do período de determinação da economia. A utilização da opção A pode despender menos recursos financeiros do que outras opções, uma vez que o custo de estimar um parâmetro pode ser significativamente menor do que o custo da medição deste mesmo parâmetro. Contudo, em situações específicas em que a estimativa é a única possibilidade, a estimativa adequada do parâmetro pode ser mais onerosa do que se a medição direta deste fosse possível (EVO, 2012).

Ainda, para a verificação da instalação, em intervalos definidos durante o período de determinação da economia, a instalação deve voltar a ser inspecionada, de modo a conferir a permanência dos equipamentos no local, o funcionamento adequado e a manutenção. O processo de verificação garante a continuidade do potencial para obter a economia prevista e, para validar os parâmetros estimados (não medidos). A frequência das inspeções é determinada

pela probabilidade de alterações do desempenho energético, podendo ser estabelecida por meio de frequentes inspeções iniciais, até estipular a estabilidade da existência e do desempenho energético dos equipamentos (EVO, 2012).

A opção B, medição isolada de AEE, requer a medição de todos os parâmetros necessários para calcular a energia. A maioria das AEEs implementadas, podem ter sua economia determinada com a adoção da opção B. Todavia, tanto os custos quanto o grau de dificuldade do processo aumentam, em função da maior complexidade da medição. Geralmente, a utilização da opção B consiste em métodos mais difíceis e dispendiosos do que a adoção da opção A, porém, a opção B produz resultados com maior exatidão nos casos em que as cargas e/ou os padrões de economia forem variáveis. Para o cálculo das economias, pode não ser necessário os ajustes, de rotina ou não de rotina, dependendo da fronteira de medição, da duração do período de determinação da economia, ou ainda, do espaço de tempo decorrido entre as medições do período da linha de base e as medições do período de determinação da economia (EVO, 2012).

A opção C, medição de toda a instalação, implica a utilização de medidores da concessionária, medidores de toda a instalação ou ainda submedidores, para avaliar o desempenho energético da instalação como um todo. A fronteira de medição inclui toda a instalação ou grande parte desta. A opção C permite determinar a economia coletiva de todas as AEEs aplicadas à parte da instalação monitorada pelo medidor de energia, o que inclui os efeitos positivos ou negativos de todas as alterações feitas na instalação, não relacionadas com as AEEs implementadas (EVO, 2012).

A opção C destina-se a projetos em que a economia esperada é significativa, devendo ultrapassar 10% do consumo total da instalação, comparada com as variações de energia aleatórias ou inexplicáveis ocorridas ao nível de toda a instalação. O principal desafio associado ao uso da opção C, consiste em identificar mudanças na instalação que vão requerer ajustes não de rotina, principalmente quando a economia é monitorada por longos períodos. Portanto, durante o período de determinação da economia, devem ser realizadas inspeções periódicas, visando identificar possíveis mudanças nos fatores estáticos das condições da linha de base. As inspeções devem participar do monitoramento regular, de modo a garantir que os métodos de funcionamento previstos ainda estejam sendo seguidos (EVO, 2012).

A opção C deve considerar anos completos (períodos de 12, 24 ou 36 meses) de dados contínuos durante o período da linha de base e de determinação da economia. Os modelos que usam outro número de meses podem criar um erro sistemático ao sub ou sobre representar os modos normais de funcionamento da instalação. O custo da opção C depende da origem dos

dados de energia (se for de um medidor existente, não há custo extra de medição), bem como, da dificuldade em localizar fatores estáticos dentro da fronteira de medição (varia conforme o tamanho da instalação, a probabilidade de alteração dos fatores estáticos, a dificuldade em detectar as alterações e os procedimentos de verificação existentes), para permitir ajustes não de rotina durante o período de determinação da economia (EVO, 2012).

A opção D, simulação calibrada, acarreta na utilização de um software de simulação (modelo matemático) capaz de prever a energia consumida na instalação. O modelo matemático deve ser calibrado, de modo a prever um padrão de consumo de energia semelhante aos verdadeiros dados medidos. A opção D assemelha-se à opção C, podendo ser utilizada para avaliar o desempenho energético de todas as AEEs em uma instalação, entretanto, a simulação computacional atribuída à opção D permite estimar a economia atribuível a cada AEE, em um projeto composto por múltiplas AEEs. Essa opção também é útil para avaliar o desempenho energético de sistemas individuais em uma instalação, assemelhando-se às opções de medição isolada A e B. Para tal, o consumo de energia do sistema individual deve ser isolado do restante da instalação, por meio de medidores apropriados (EVO, 2012).

A opção D tem sua principal finalidade em situações onde os dados de consumo de energia do período da linha de base não existem ou não estão disponíveis, ainda, quando os dados do período de determinação da economia não estão disponíveis ou estão obscurecidos por fatores difíceis de quantificar (dificuldade em prever o impacto das AEEs sobre o consumo de energia da instalação). E por fim, em situações que a determinação da economia proveniente de AEEs individuais por meio das opções A ou B, são complicadas ou dispendiosas para sua execução. Em síntese, a aplicação da opção D é considerada onde nenhuma outra opção seja aplicável, entretanto, são requeridos especialistas para a utilização de softwares de simulação do consumo da instalação, o que também pode encarecer a M&V (EVO, 2012).

A abordagem principal de M&V para avaliar as contribuições da eficiência energética na concepção de novas instalações consiste na opção D. Considera-se como o maior desafio associado ao uso dessa opção, o processo da modelagem e calibração precisas executadas por computador, nos dados medidos sobre o consumo de energia, bem como, o controle dos custos deste método, mantendo a precisão dos resultados aceitável (EVO, 2012).

A Tabela 2.4 sintetiza as melhores aplicações para cada uma das opções de M&V disponíveis pelo PIMVP, considerando distintas situações.

Tabela 2.4 - Melhores aplicações para cada opção de M&V

Opção de M&V	Melhores aplicações da opção de M&V
Opção A	<ul style="list-style-type: none"> -A estimativa de parâmetros não chave pode evitar ajustes não de rotina difíceis; -A incerteza criada pelas estimativas é aceitável; -A eficácia da AEE pode ser avaliada por rotina de re-teste dos parâmetros-chave; -A estimativa de parâmetros é menos dispendiosa do que a opção B ou D; -Os parâmetros-chave usados no cálculo da economia estão bem definidos.
Opção B	<ul style="list-style-type: none"> -Os medidores instalados para fins de isolamento serão utilizados para outros fins; -A medição de todos os parâmetros é menos dispendiosa do que na opção D; -A economia ou as operações dentro da fronteira de medição são variáveis.
Opção C	<ul style="list-style-type: none"> -Existem muitos tipos de AEEs em uma instalação; -A economia é superior à 10% do consumo total da instalação; -As técnicas de medição isoladas de AEEs são complexas (efeitos interativos); -Não são previstas grandes mudanças futuras na instalação pós <i>retrofit</i>; -Possibilidade de correlações entre consumo de energia e variáveis independentes.
Opção D	<ul style="list-style-type: none"> -Os dados de consumo pré ou pós <i>retrofit</i>, estão indisponíveis ou são duvidosos; -As AEEs implicam atividades difusas que não podem ser facilmente isoladas; -Efeitos interativos complexos entre AEEs (opções A ou B impraticáveis); -São previstas grandes alterações pós <i>retrofit</i>, sendo impossível avaliar o impacto; -A instalação e as AEEs podem ser modeladas por software de simulação; -O software de simulação prevê dados medidos de calibração com precisão.

Fonte: Adaptado de EVO (2012)

Não é possível generalizar a respeito da melhor opção do PIMVP a ser adotada para qualquer tipo de situação, apesar deste fato, algumas características-chave do projeto sugerem a adoção de opções frequentemente mais favorecidas. Cabe ressaltar que o PEE da ANEEL admite a utilização de qualquer opção, dentre as quatro opções de M&V apresentadas pelo PIMVP, porém, a adoção de cada uma das opções deve ser justificada e efetuada de modo que melhor favoreça a determinação da economia do uso final envolvido.

A Figura 2.3 apresenta o fluxograma de uma metodologia para auxiliar na seleção da opção de M&V mais adequada, de acordo com o PIMVP.

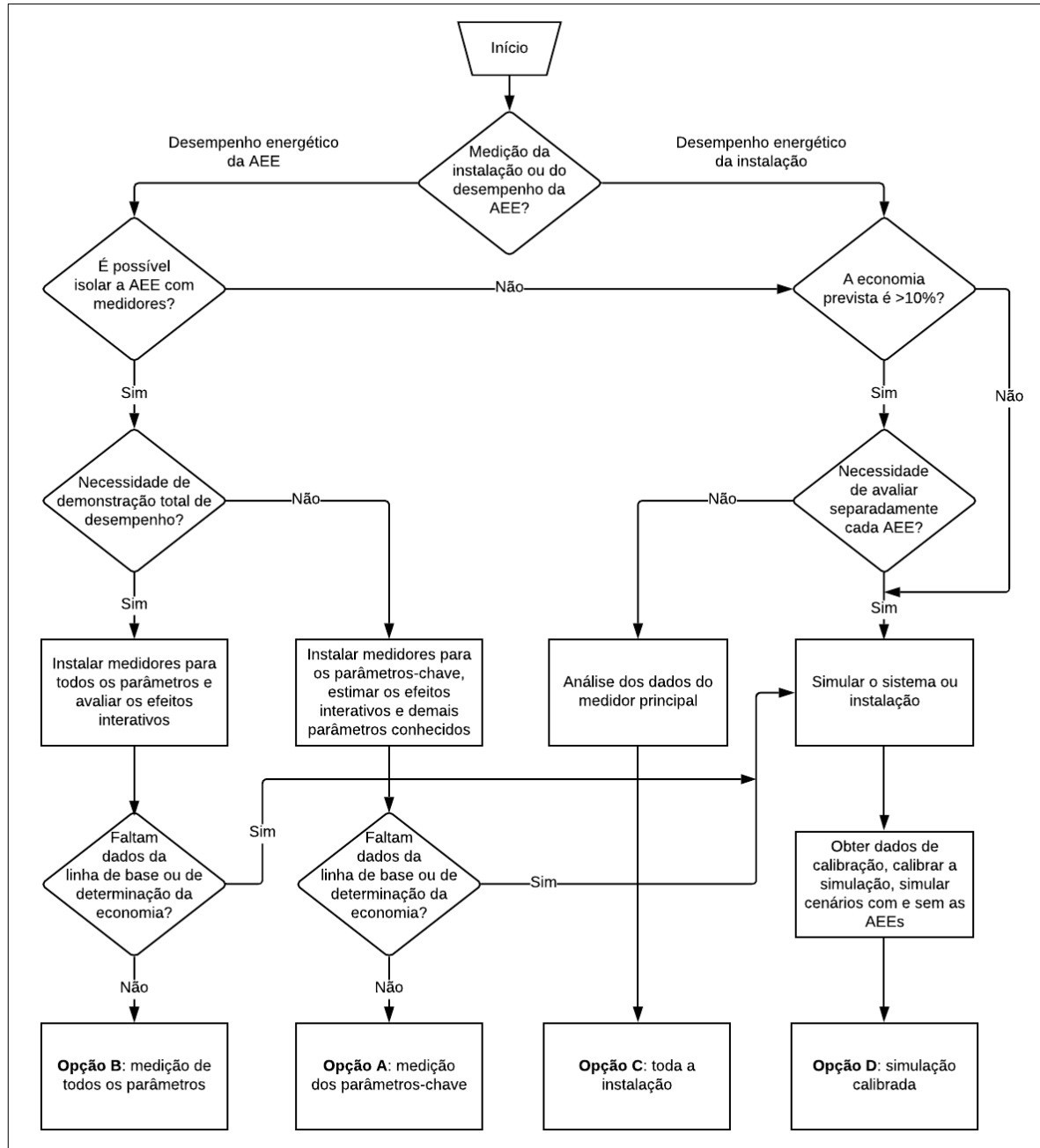


Figura 2.3 - Processo simplificado de seleção da opção de M&V
Fonte: Adaptado de EVO (2012)

2.2.2 Plano de M&V

Recomenda-se a preparação de um Plano de M&V para o período de determinação da economia, o qual garante que todos os dados necessários para a determinação da economia estarão disponíveis após a implementação das AEEs, dentro do limite de custos aceitáveis. O Plano de M&V é um elemento-chave do PIMVP e define o significado da palavra “economia” para cada projeto distinto (KAISER; PULSIPHER, 2010). Os dados da linha de base e as particularidades das AEEs podem ser extraviados e, portanto, é preciso registrá-los para

referência futura, no caso das condições se alterarem ou as AEEs não atingirem os resultados esperados. Para ser considerado completo, o Plano de M&V necessita incluir os seguintes tópicos (EVO, 2012):

- a) **Objetivo da AEE:** Descrição da AEE a ser implementada, dos resultados esperados e dos procedimentos da verificação operacional para comprovação dos resultados realizados, devendo-se ainda, identificar todas as alterações planejadas às condições da linha de base.
- b) **Opção do PIMVP e fronteira de medição:** Especificação da opção do PIMVP adotada para a determinação das economias, onde deve ser incluída a data de publicação, o número da versão e o número do volume da edição do PIMVP a ser considerada. Deve-se identificar a fronteira de medição do período de determinação da economia e descrever a natureza de quaisquer efeitos interativos para além da fronteira de medição.
- c) **Linha de base (período, energia e condições):** Documentação das condições da linha de base da instalação e os dados de energia, dentro da fronteira de medição. A documentação da linha de base deverá incluir a identificação do período da linha de base; os dados de consumo e demanda de energia da linha de base; os dados das variáveis independentes e dos fatores estáticos que coincidem com os dados de energia. Usualmente, a documentação da linha de base exige auditorias documentadas, investigações, inspeções, e/ou atividades de medição a curto prazo.
- d) **Período de determinação da economia:** Identificação do período de determinação da economia, o qual pode ser curto (medição instantânea), ou longo (tempo necessário para recuperar o investimento do programa da AEE).
- e) **Base para o ajuste:** Declaração das condições as quais todas as medições de energia serão ajustadas. As condições podem ser as do período de determinação da economia ou outro conjunto de condições fixas, sendo que essa escolha determina se a economia é reportada como energia evitada ou como economia normalizada.
- f) **Procedimento de análise:** Especificação dos procedimentos exatos de análise de dados, algoritmos e hipóteses a serem usados em cada relatório de economia. Para os modelos matemáticos utilizados, deve-se reportar todos os seus termos, bem como a faixa de variação das variáveis independentes para o qual o modelo é válido.
- g) **Preço da energia:** Indicação dos preços da energia considerados para avaliação da economia, e como esta será ajustada se os preços mudarem no futuro, se for o caso.
- h) **Especificações do medidor:** Especificação dos pontos de medição e períodos (se a medição não for contínua). Para o caso de os medidores utilizados não serem os da

concessionária, deve-se especificar as características da medição; a leitura do medidor e o protocolo de confirmação; os procedimentos da colocação em serviço do medidor; o processo de calibração de rotina e o método de tratamento de dados perdidos.

- i) **Responsabilidades de monitoramento:** Atribuição das responsabilidades de reportar e registrar dados de energia, variáveis independentes e fatores estáticos dentro da fronteira de medição, durante o período de determinação da economia.
- j) **Precisão esperada:** Avaliação da precisão esperada associada à medição, à obtenção de dados, à amostragem e à análise dos dados. Deve-se incluir medidas qualitativas e as medidas quantitativas possíveis do nível de incerteza nas medições, além de ajustes a serem usados no relatório de economia.
- k) **Orçamento:** Definição do orçamento e recursos necessários para a determinação da economia, os custos iniciais e os custos contínuos durante o período de determinação da economia.
- l) **Formato do relatório:** Indicação da forma pela qual os resultados serão reportados e documentados, devendo ser incluída uma amostra de cada relatório.
- m) **Garantia de qualidade:** Especificação dos procedimentos de garantia de qualidade que serão utilizados para os relatórios de economia, além de todos os passos intermediários na preparação dos relatórios.

Alguns tópicos adicionais também podem ser adicionados ao Plano de M&V, de acordo com as especificidades de cada projeto. Em projetos onde se adota a opção A, deve-se também incluir a justificativa das estimativas e definição das inspeções periódicas (durante o período de determinação da economia, para verificar se os equipamentos estão instalados e funcionando conforme o previsto). Para a opção D, deve-se considerar também, o nome e a versão do software de simulação, os dados de entrada/saída do modelo, os dados medidos, a precisão da calibração e os dados utilizados para tal.

2.2.3 Incertezas e custos na M&V

O nível aceitável de incerteza relaciona-se com o custo de reduzir a incerteza a um nível adequado para o valor previsto da economia. A economia prevista estabelece um limite para o orçamento da M&V, que por sua vez determina a margem aceitável de incerteza (EVO, 2012). Recomenda-se que os custos máximos com atividades de M&V devem ser de 10% do custo total do projeto, com valores típicos entre 3 a 5% (ANEEL, 2018b).

A medição de qualquer quantidade física é passível de erros, visto que os instrumentos de medição não são totalmente precisos. Os erros consistem nas diferenças entre o consumo de energia observado e o verdadeiro consumo de energia, sendo que os erros impedem a determinação exata da economia obtida pela AEE. O consumo de energia da linha de base e do período de determinação da economia está habitualmente sujeito à erros de medição, bem como, todos os erros existentes nos ajustes calculados. Para garantir que o erro resultante (incerteza) seja aceitável, deve-se gerenciar os erros inerentes à medição e à análise, durante o desenvolvimento e a implementação do Plano de M&V (EVO, 2012).

A incerteza a respeito da economia reportada por uma AEE pode ser gerenciada por meio do controle de erros aleatórios e do viés dos dados. Os erros aleatórios são influenciados pela qualidade do equipamento de medição, das técnicas de medição e da concepção do procedimento de amostragem. O viés dos dados, por sua vez, é afetado pela qualidade dos dados de medição, por suposições e análises (EVO, 2012).

Os erros podem surgir como consequência dos processos de modelagem, amostragem e medição. Os erros atribuídos à modelagem matemática ocorrem devido a uma forma funcional inadequada, à inclusão de variáveis irrelevantes, à exclusão de variantes relevantes, entre outros. O erro de amostragem ocorre quando apenas uma porção da população de valores reais é medida, ou quando é utilizada uma abordagem de amostragem com erro sistemático. A representação de apenas uma porção da população pode ocorrer tanto no sentido físico, quanto no sentido temporal. Os erros de medição resultam da precisão dos sensores, de erros de rastreamento de dados, de desvios desde a calibração e de medições imprecisas. A magnitude de tais erros é dada em grande parte pelas especificações do fabricante, sendo gerida pela calibração periódica dos medidores (EVO, 2012).

Estes processos produzem “estimativas” estatísticas com valores reportados ou previstos e algum nível de variação, ou seja, os verdadeiros valores não são conhecidos, apenas estimativas com algum nível de incerteza. Todas as medições físicas, bem como a análise estatística baseiam-se em estimativas de tendências centrais, tais como valores médios e quantificação de variações da largura de faixa, do desvio padrão, do erro padrão e da variância (EVO, 2012). As características do processo de determinação de economia que devem ser cuidadosamente revistas para gerir a precisão ou a incerteza são (EVO, 2012):

- a) **Instrumentação:** Os erros dos equipamentos de medição são devidos à calibração, medição inexata, instalação ou funcionamento incorreto do medidor.

- b) **Modelagem:** Incapacidade de encontrar modelos matemáticos que expliquem as variações do consumo de energia. Os erros de modelagem podem dar-se pela inclusão de variáveis irrelevantes ou pela exclusão de variáveis relevantes.
- c) **Amostragem:** A utilização de amostragens para representar a população introduz erros como resultado da variação de valores dentro da população ou de amostragem enviesada.
- d) **Efeitos interativos:** Para além da fronteira de medição, que não estão completamente incluídos na metodologia de cálculo da economia.
- e) **Estimativa de parâmetros:** Pode-se minimizar a variação entre o valor estimado do parâmetro e o seu verdadeiro valor, por meio da cuidadosa revisão da concepção da AEE, da estimativa dos parâmetros e da inspeção da AEE após a instalação.

A precisão aceitável da economia deve ser estabelecida durante o processo de planeamento da M&V, sendo que a precisão de qualquer valor medido é expressa adequadamente dentro da faixa na qual se espera que o verdadeiro valor esteja inserido, com algum intervalo de confiança (EVO, 2012).

As restrições orçamentárias nos programas de eficiência energética exigem um planeamento cuidadoso para minimizar os custos de M&V, enquanto mantém-se a precisão adequada durante o processo. Os custos de M&V devem ser adequados à dimensão da economia prevista, à duração do período de reembolso da AEE e ao interesse dos usuários do relatório na precisão, frequência e duração do processo de criação de relatórios (EVO, 2012).

Em linhas gerais, o custo da M&V para determinar a economia depende de muitos fatores, podendo-se citar, a opção do PIMVP selecionada; o número de AEEs e sua complexidade, bem como a quantidade de interações entre estas; o número de fluxos de energia através da fronteira de medição nas opções A, B, ou D, quando aplicadas a um único sistema; o nível de detalhe e esforço associado ao estabelecimento das condições da linha de base necessárias para a opção selecionada; a quantidade e complexidade dos equipamentos de medição (concepção, instalação, manutenção, calibração, leitura, remoção); o tamanho das amostras usadas para a medição dos equipamentos representativos; a quantidade de cálculos de engenharia necessários para realizar e apoiar as estimativas usadas nas opções A ou D; o número e a complexidade das variáveis independentes usadas nos modelos matemáticos; a duração do período de determinação da economia; as requerimentos de precisão; os requerimentos do relatório de economia; o processo de revisão ou verificação da economia reportada e a experiência e as qualificações profissionais das pessoas encarregadas de efetuar a determinação da economia (EVO, 2012).

Como visto, os custos de M&V são dependentes de uma série de fatores, e o desafio consiste em viabilizar os investimentos da M&V, mantendo um padrão aceitável das incertezas. Para tal, alguns trabalhos propõem modelos de minimização dos custos de medição, enquanto satisfazem os requisitos de precisão e amostragem para a etapa de M&V, tratando a questão de M&V como um problema de modelagem matemática.

Xia e Zhang (2013) apresentaram uma descrição matemática do processo de M&V, considerando o desenvolvimento do plano de M&V como um problema de modelagem. Portanto, um plano de M&V ótimo é obtido por meio da solução de um cálculo de variação, ou seja, de um problema de controle ótimo. Os critérios para seleção da opção de M&V mais adequada foram discutidos do ponto de vista do sistema de controle. Uma vez que o custo e as incertezas de M&V podem ser colocadas como objetivos ou restrições no modelo de otimização do plano de M&V, estas podem ser minimizadas.

Ye e Xia (2016) propuseram um modelo de minimização de custos de medição, o qual foi aplicado em um projeto de *retrofit* de sistema de iluminação. Concluiu-se que o modelo combinado (espacial e longitudinal) foi capaz de reduzir em 94% o custo de medição, em comparação ao cenário sem otimização. O modelo possui a limitação de concentrar-se em incertezas amostrais, prestando menos atenção às incertezas de modelagem e medição.

Olinga, Xia e Ye (2017) apresentaram um modelo de minimização de custos de M&V para tratar incertezas de amostragem e modelagem de maneira econômica. O modelo proposto foi aplicado para projetar um plano de M&V ideal para um projeto de *retrofit* de semáforos. Os resultados mostram que o plano de M&V otimizado reduz o custo de amostragem em 42% e o custo total de M&V em 11%.

2.2.4 Amostragem

A amostragem introduz erros, pois não realiza a medição de todas as unidades da população em estudo. Para uma situação simples de amostragem, seleciona-se aleatoriamente n unidades de uma população total composta por N unidades. Cada unidade tem a mesma probabilidade (n/N) de ser incluída em uma amostra aleatória. Usualmente, o erro padrão é proporcionalmente inverso a \sqrt{n} , logo, aumentar o tamanho da amostra por um fator “ f ” reduzirá o erro padrão por um fator de \sqrt{f} , melhorando a precisão da estimativa (EVO, 2012).

Uma forma de minimizar o erro de amostragem é aumentar a fração da população retirada como amostra (n/N), entretanto, expandir o tamanho da amostra implica,

consequentemente, no aumento dos custos de M&V. Deve-se seguir algumas etapas para o estabelecimento do tamanho da amostra (EVO, 2012):

- a) Selecionar uma população homogênea: Para que a amostragem tenha um custo compensador, as unidades medidas devem ser iguais às de toda a população. Isso significa que se houver diferentes tipos de unidades na população, estas deverão ser agrupadas, e a amostra deverá ser realizada separadamente.
- b) Determinar níveis desejados de precisão e confiança: A precisão refere-se ao limite do erro em torno da verdadeira estimativa, sendo que, uma precisão mais elevada requer uma amostra maior. A confiança refere-se à probabilidade de que a estimativa se encontre dentro dos limites da faixa da precisão, e para uma probabilidade mais elevada, também se exige amostras maiores. A abordagem convencional consiste em conceber a amostragem para obter um intervalo de confiança de 90% e uma precisão de $\pm 10\%$. No entanto, selecionar os critérios de amostragem adequadamente, exige o equilíbrio entre requerimentos de precisão e os custos de M&V, considerando os limites impostos pelo orçamento e pelo Plano de M&V.
- c) Decidir o nível de desagregação: Estabelecer se os critérios do intervalo de confiança e de precisão devem ser aplicados à medição de todos os componentes ou a vários subgrupos de componentes.
- d) Calcular o tamanho da amostra inicial: Uma estimativa inicial do tamanho da amostra global pode ser determinada usando a Equação 2.2.

$$n_0 = \frac{z^2 CV^2}{e^2} \quad (2.2)$$

Em que n_0 é a estimativa inicial do tamanho da amostra requerido, antes de começar a amostragem; CV é o coeficiente de variação, definido como o desvio padrão das leituras dividido pela média, porém, o valor de 0,5 poderá ser usado como estimativa inicial para o CV enquanto a média real e o desvio padrão da população puderem ser estimados a partir de amostra reais; “e” é o nível desejado de precisão; e z é o valor padrão de distribuição normal, com um número infinito de leituras e para o intervalo de confiança desejado (por exemplo, para um intervalo de confiança de 90%, o valor de z corresponde à 1,64).

- e) Ajustar a estimativa inicial do tamanho da amostra para pequenas populações: O tamanho da amostra necessária poderá ser reduzido, se a população sujeita a amostragem não for 20 vezes maior do que o tamanho da amostra. Para tal, o “ajuste de

população finita” pode ser aplicado, reduzindo o tamanho da amostra (n), necessário para obedecer ao critério de 90%/±10%, de acordo com a Equação 2.3.

$$n = \frac{n_0 N}{n_0 + N} \quad (2.3)$$

- f) Finalizar o tamanho da amostra: Sendo o tamanho inicial da amostra n_0 determinado utilizando um CV suposto, é importante verificar que o CV real da população sujeita à amostragem pode ser diferente. Do contrário, o tamanho de amostra real diferente pode ser necessário para obedecer ao critério de precisão. Se o CV real for inferior à 0,5, o tamanho necessário da amostra terá sido grande demais para atingir os objetivos de precisão. Se o CV real for maior do que 0,5, o objetivo de precisão não será atingido, a menos que seja aumentado o tamanho da amostra para além do valor calculado pelas Equações 2.2 e 2.3. Para manter os custos de M&V dentro dos limites orçamentários, pode ser apropriado estabelecer um tamanho de amostra máximo. Se este máximo for alcançado após os novos cálculos, os relatórios de economia deverão registrar a precisão real obtida pela amostragem (EVO, 2012).

2.3 Protocolos e diretrizes de M&V

A M&V de economias de programas de eficiência energética ou de contratos baseados em desempenho, requer atividades especiais de planejamento e engenharia. Embora a M&V seja uma ciência em evolução, as melhores práticas do setor foram desenvolvidas, estando documentadas em algumas diretrizes (FEMP, 2015).

Todos os protocolos voltados ao processo de M&V compartilham o objetivo comum, que consiste em avaliar o resultado de uma medida de eficiência energética implementada (WORLD BANK, 2017). Os protocolos de M&V padronizam a maneira de calcular a energia economizada, além de conferirem credibilidade na apuração dos resultados. Isso torna possível o real acompanhamento do desempenho das AEEs e concede maior segurança ao investidor, de que o seu investimento será remunerado. Assim, a principal contribuição dos protocolos de M&V é focar na gestão, sustentabilidade e confiabilidade da economia atingida (LEITE, 2010).

As próximas seções apresentam resumidamente as características dos principais protocolos de M&V adotados para avaliação de economias em projetos ou programas de

eficiência energética. O Apêndice A traz um resumo de outros protocolos utilizados para M&V, bem como suas características.

2.3.1 Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance

O PIMVP é um protocolo de orientação que fornece uma estrutura conceitual para medir, computar e relatar economias obtidas por projetos de eficiência energética ou de água em instalações comerciais e industriais. O protocolo define termos-chave e descreve questões que devem ser consideradas no desenvolvimento de um plano de M&V (FEMP, 2015). Entretanto, o PIMVP não apresenta os procedimentos necessários à execução do processo de M&V, mas recomendações para alguns casos descritos no protocolo (EVO, 2012).

Desenvolvido por meio de um esforço colaborativo envolvendo organizações industriais, governamentais, financeiras e outras, o PIMVP fornece quatro opções de M&V e aborda questões relacionadas ao uso da M&V em projetos de utilidade e financiados por terceiros (FEMP, 2015). A M&V aderente ao PIMVP inclui tanto a verificação operacional quanto a quantificação das economias baseada nas medições de energia antes e depois da implementação do projeto e os ajustes efetuados (EVO, 2012).

Para converter as recomendações em métodos adequados, necessita-se de conhecimento não apenas de suas prescrições, mas também das técnicas e atividades de projetos de eficiência energética (BRASIL, 2011a). O PIMVP é uma das diretrizes mais abrangentes para a M&V e tornou-se o padrão de recomendações para M&V em muitos países, sendo amplamente utilizado (WORLD BANK, 2017), inclusive sendo o protocolo adotado para aferição das economias oriundas dos projetos implementados pelo PEE das distribuidoras de energia elétrica brasileiras, regulado pela ANEEL.

2.3.2 ASHRAE *Guideline* 14:2002

A ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) *Guideline* 14:2002 foi inicialmente publicada em 2000, consistindo em uma referência para o cálculo da economia de energia e demanda, associada a contratos de desempenho usando medições. O objetivo principal desta diretriz baseia-se na padronização dos procedimentos de cálculo de economia de energia, sendo considerada uma versão mais técnica do PIMVP. Além disso, estabelece diretrizes de instrumentação e gerenciamento de

dados e descreve métodos para explicar a incerteza associada a modelos e medições (WORLD BANK, 2017).

A diretriz requer a medição de todos os parâmetros, logo, estimativas não são permitidas, o que requer a introdução de análise de incertezas para o plano de M&V conduzido. A diretriz possui informações detalhadas, sendo menos flexível, o que pode acarretar dificuldades para profissionais não especialistas em M&V. Devido à natureza de medição completa de todos os parâmetros, o custo de M&V possui a tendência de ser mais oneroso e, portanto, sua utilização não se adequa para projetos mais simples (WORLD BANK, 2017).

As três abordagens apresentadas para a M&V estão intimamente relacionadas e são condizentes com as opções fornecidas no PIMVP, exceto que a *ASHRAE Guideline 14:2002* não possui uma abordagem paralela à opção A, apresentada tanto no PIMVP como no *FEMP M&V Guidelines*. A conformidade com cada abordagem exige que a incerteza geral das estimativas de economia esteja abaixo dos limites prescritos (FEMP, 2015).

Embora detalhada e bem desenvolvida, a *ASHRAE Guideline 14:2002* não é amplamente utilizada por ESCOs ou profissionais de M&V, pelo fato de que a diretriz deve ser adquirida, ao contrário de outros protocolos que são fornecidos gratuitamente; o documento é considerado altamente técnico, com características acadêmicas, o que não é prático para as atividades diárias de M&V, e por fim, é considerado menos flexível, pois não permite estimativas ou medições limitadas (WORLD BANK, 2017).

2.3.3 FEMP M&V Guidelines

O *Federal Energy Management Program (FEMP) M&V Guidelines* fornece diretrizes e métodos para verificar as economias de energia, água e custos, obtidas a partir de contratos de desempenho. Foi lançado nos Estados Unidos, com o objetivo de auxiliar agências do governo federal a medir e verificar a economia de energia obtida por AEEs em prédios federais. Este protocolo contém procedimentos e diretrizes para quantificar as economias resultantes de projetos que envolvam cogeração, energias renováveis, conservação de água e equipamentos com alto nível de eficiência energética (FEMP, 2015).

Basicamente, o *FEMP M&V Guidelines* é uma aplicação do PIMVP voltada diretamente para os edifícios federais, uma vez que a política energética dos Estados Unidos exige que essas instalações reduzam sua intensidade energética (WORLD BANK, 2017). Embora o foco deste protocolo seja direcionado para projetos baseados em contratos de desempenho, os procedimentos podem ser adaptados para determinar a economia de medidas

de conservação de energia instaladas em qualquer projeto, independentemente da fonte de financiamento (FEMP, 2015).

O FEMP M&V *Guidelines* contém procedimentos específicos para a aplicação de conceitos originários do PIMVP, necessários para determinar as abordagens de M&V, avaliar planos e relatórios de M&V e estabelecer a base de pagamento para as economias durante o contrato, sendo esses procedimentos compatíveis e consistentes com o PIMVP (FEMP, 2015).

2.4 Programa de Eficiência Energética da ANEEL

A partir de 1995, com o estabelecimento da privatização de empresas concessionárias distribuidoras de energia elétrica, o governo federal considerou estratégico assegurar que parte da receita dessas empresas fosse investida em ações de eficiência energética. Portanto, os primeiros contratos de concessão firmados em 1995 continham cláusulas específicas, em que as concessionárias deveriam apresentar anualmente, um plano de ações visando incrementar a eficiência no uso e na oferta de energia elétrica (HADDAD, 2002b).

Com a criação da ANEEL, em 1996, houve o aprimoramento da cláusula contratual, tornando compulsório o investimento em eficiência energética pelas concessionárias, que estavam sujeitas a penalidades, caso não atendessem à obrigação. Dessa forma, iniciou-se em 1998, a apresentação por parte das concessionárias dos chamados “Programas Anuais de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica”, que caracterizou um primeiro esboço de um programa de eficiência energética das concessionárias. No entanto, as cláusulas contratuais eram genéricas e difíceis de monitorar, e, portanto, o poder concedente estava encontrando dificuldades em verificar o desempenho dos serviços públicos (JANNUZZI, 2005).

Entretanto, a Lei nº 9.991, promulgada em 24 de julho de 2000, regulamentou a obrigatoriedade de investimentos em programas de eficiência energética no uso final, por parte das concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica. A Lei consolidou a destinação de um montante de recursos para ações de eficiência energética, instituindo o chamado Programa de Eficiência Energética (PEE), implementado pelas concessionárias de distribuição de energia elétrica e regulado pela ANEEL (BRASIL, 2011a).

Atualmente, o PEE é o principal mecanismo de investimentos voltado à eficiência energética no país, e possui como objetivo, a promoção do uso eficiente e racional da energia elétrica em todos os setores da economia, por meio de projetos que comprovam a importância e viabilidade econômica da aplicação da eficiência energética em equipamentos, processos e usos finais de energia elétrica. Busca-se ampliar os benefícios públicos da energia economizada

e da demanda evitada no âmbito desses programas, e por fim, transformar o mercado de energia elétrica, com estímulo ao desenvolvimento de novas tecnologias e a criação de hábitos e práticas racionais de uso da energia elétrica (ANEEL, 2018b).

A Relação Custo-Benefício (RCB) do projeto é o critério mais importante considerado, uma vez que se consideram como benefícios do projeto, a valoração da energia economizada e a redução de demanda na ponta geradas durante a vida útil das AEEs implementadas. Os custos são o montante necessário para a efetiva realização e implementação do projeto. Exige-se que os benefícios previstos pelo projeto, sejam de no mínimo, 25% maior do que seus custos (ANEEL, 2018b).

No âmbito do PEE, verificou-se, nos primeiros ciclos, a predominância de investimentos voltados para a redução de perdas técnicas nas redes de distribuição, em lâmpadas eficientes em redes de iluminação pública e na realização de diagnósticos energéticos em instalações industriais, comerciais e de serviços. Nos ciclos mais recentes, observou-se o forte crescimento de ações de otimização da gestão energética, envolvendo parcerias com ESCOs (*Energy Service Companies*) em indústrias, estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços (BRASIL, 2011a).

Buscando aprimorar as legislações correlatas ao PEE para a sua adequação ao longo dos anos, algumas resoluções normativas foram publicadas pela ANEEL, bem como, o estabelecimento de manuais para auxiliar na elaboração de projetos destinados ao programa. A Tabela 2.5 sintetiza o histórico de regulamentações impostas ao PEE desde a sua concepção.

Tabela 2.5 - Histórico de regulamentações impostas ao PEE

Instrumento legal	Descrição
Resolução ANEEL nº 242, de 24/07/1998	Estabelece a aplicação de 1% da receita operacional anual (RA) apurada no ano anterior em ações de eficiência no uso e na oferta de energia elétrica, sendo no mínimo 0,25% da RA destinada a ações de uso final de energia elétrica
Resolução ANEEL nº 261, de 03/09/1999	Estabelece o investimento mínimo de 0,1% e 0,25% da RA, em atividades de P&D e ações de uso final de energia elétrica, respectivamente
Resolução ANEEL nº 271, de 19/07/2000	Estabelece que a diferença entre o montante aplicado (1% da RA) e o total resultante do cumprimento do disposto (0,1% em P&D e 0,25% em EE) deverá ser aplicada em ações vinculadas ao incremento da eficiência na oferta de energia elétrica
Lei nº 9.991, de 24/07/2000	Dispõe sobre realização de investimentos em P&D e Eficiência Energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica, e dá outras providências. Estabelece a aplicação anual de no mínimo 0,75% da receita operacional líquida (ROL) em P&D do setor elétrico e, no mínimo

	0,25% em programas de Eficiência Energética no uso final, até 31/12/2010
Resolução ANEEL nº 153, de 18/04/2001	Altera critérios de aplicação de recursos estabelecidos na Resolução ANEEL nº 271/2000. Estabelece a aplicação de no mínimo 0,5% da RA apurada no ano anterior em projetos de doação de lâmpadas fluorescentes compactas aos consumidores de baixo poder aquisitivo
Resolução ANEEL nº 185, de 21/05/2001	Estabelece critérios para cálculo e aplicação dos recursos destinados à P&D e EE, pelas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica
Resolução ANEEL nº 186, de 23/05/2001	As concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica foram redirecionadas a aplicar recursos mínimos de 0,5% da RA em projetos de doação de lâmpadas fluorescentes compactas aos consumidores de baixo poder aquisitivo ou de efficientização de sistemas de iluminação pública
Resolução ANEEL nº 394, de 17/09/2001	Estabelece que as concessionárias e permissionárias devem aplicar anualmente o mínimo de 0,5% da ROL (calculada de acordo com a Resolução ANEEL nº 185/2001) em projetos visando incrementar a eficiência no uso final de energia elétrica
Resolução ANEEL nº 492, de 03/09/2002	Estabelece que até 31/12/2005, as concessionárias e permissionárias de distribuição deverão aplicar, anualmente, no mínimo 0,5% da ROL no desenvolvimento de programas para o incremento da eficiência energética no uso final de energia elétrica
Resolução Normativa ANEEL nº 063, de 12/05/2004	Aprova procedimentos para regular a imposição de penalidades aos concessionários, permissionários, autorizados e demais agentes de instalações e serviços de energia elétrica, bem como às entidades responsáveis pela operação do sistema, pela comercialização de energia elétrica e pela gestão de recursos provenientes de encargos setoriais
Resolução Normativa ANEEL nº 176, de 28/11/2005	Estabelece que até 31/12/2005, a concessionária ou permissionária deverá aplicar anualmente, no mínimo 0,5% de sua ROL no desenvolvimento de programa para o incremento da eficiência energética no uso final de energia elétrica e a partir de 01/01/2006, o percentual mínimo passa a ser de 0,25% da ROL
Resolução Normativa ANEEL nº 219, de 11/04/2006	Aprova o Manual dos Programas de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica, versão 2006, e dá outras providências
Resolução Normativa ANEEL nº 233, de 24/10/2006	Estabelece os critérios e procedimentos para o cálculo, a aplicação e o recolhimento, pelas concessionárias, permissionárias e autorizadas, dos recursos previstos na Lei nº 9.991/2000
Lei nº 11.465, de 28/03/2007	Prorroga, até 31/12/2010, a obrigação das concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica aplicarem, no mínimo 0,5% da ROL em programas de eficiência energética no uso final
Resolução Normativa ANEEL nº 300, de 12/02/2008	Estabelece que as concessionárias e permissionárias deverão aplicar no mínimo 50% da obrigação legal de investimento em programas de eficiência energética em projetos voltados a comunidades de baixo poder aquisitivo

Lei nº 12.212, de 20/01/2010	Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica (TSEE), e estabelece que as concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica deverão aplicar no mínimo 60% dos recursos dos seus programas de eficiência para unidades consumidoras beneficiadas pela TSEE
Resolução Normativa ANEEL nº 556, de 18/06/2013	Aprova os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE), contendo os procedimentos para elaboração, envio, avaliação inicial e final e encerramento dos respectivos projetos de eficiência energética
Lei nº 13.203, de 08/12/2015	Estabelece que até 31/12/2022, os percentuais mínimos serão de 0,5%, tanto para P&D como para programas de Eficiência Energética na oferta e no uso final da energia, e a partir de 01/01/2023, para as concessionárias e permissionárias cuja energia vendida seja inferior a 1.000 GWh por ano, o percentual mínimo a ser aplicado em programas de Eficiência Energética no uso final poderá ser ampliado de 0,25% para 0,5%. Além disso, deve-se aplicar, no mínimo, 60%, podendo aplicar até 80%, dos recursos voltados aos seus programas de eficiência energética nas unidades consumidoras rurais, ou nas unidades pertencentes à comunidade de baixa renda ou cadastradas na TSEE
Lei nº 13.280, de 03/05/2016	Estabelece que as concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica poderão aplicar até 80% dos recursos de seus programas de eficiência energética em unidades consumidoras beneficiadas pela TSEE, em comunidades de baixa renda e em comunidades rurais, sendo que 80% serão aplicados pelas próprias concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica e 20% serão destinados ao PROCEL
Resolução Normativa ANEEL nº 830, de 23/10/2018	Altera os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) e aprova a revisão do Submódulo 5.6: Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética dos Procedimentos de Regulação Tarifária (PRORET)

Fonte: Elaborado a partir de ANEEL (1998, 1999, 2000, 2001a, 2001b, 2001c, 2001d, 2002, 2004, 2005, 2006a, 2006b, 2008b, 2013a, 2018e) e Brasil (2000, 2007d, 2010d, 2015, 2016)

Desde a publicação da Resolução Normativa ANEEL nº 300/2008, até março de 2016, foram cadastrados 1.704 projetos no âmbito do PEE das distribuidoras, sendo estimado o valor de 4.628,7 GWh/ano de energia economizada, 1.403,4 MW de demanda retirada da ponta e um investimento da ordem de R\$ 5,07 bilhões no setor, conforme Tabela 2.6 (ANEEL, 2018c). Nota-se o expressivo investimento voltado à projetos para a população de baixa renda, correspondendo à 58,8% do total de recursos aplicados, seguido de investimentos no setor residencial (11,8%), e no poder público (9,9%).

O significativo investimento direcionado à projetos da tipologia baixa renda deve-se à obrigatoriedade imposta pela Lei nº 12.212/2010, a qual dispõe sobre a TSEE e estabelece que concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica devem aplicar, no mínimo, 60% dos recursos de seus programas de eficiência energética em unidades consumidoras

beneficiadas pela TSEE. Em 2016, com a Lei nº 13.280/2016, estabeleceu-se que o percentual de recursos aplicados poderá ser de até 80% dos recursos de programas de eficiência energética, para essa tipologia de projeto.

Tabela 2.6 - Relação de projetos registrados no PEE desde a RN ANEEL nº 300/2008

Tipologia	Quantidade de projetos	Energia economizada (GWh/ano)	Demanda retirada da ponta (MW)	Investimento total (milhões de R\$)
Aquecimento Solar ¹	41	23,7	15,6	74,77
Baixa Renda	463	2.512,1	944,7	2.980,04
Cogeração ²	7	146,2	16,5	141,20
Comércio e Serviços	235	229,3	36,0	161,36
Educacional	91	6,0	1,8	235,36
Gestão Energética Municipal	14	0,0	0,0	9,63
Iluminação Pública	4	5,6	1,2	7,92
Industrial	65	174,4	12,2	107,38
Pelo Lado da Oferta ³	1	0,5	0,3	5,56
Poder Público	429	508,0	84,3	499,02
Projeto Piloto ⁴	25	75,3	21,1	70,91
Residencial	130	774,4	222,8	595,46
Rural	58	33,0	16,6	25,35
Serviços Públicos	141	140,1	30,3	152,03
Total	1.704	4.628,7	1.403,4	5.065,98

¹ Projeto Prioritário (Projetos Especiais) possui grande relevância e abrangência, concebido no âmbito de uma política nacional de eficiência energética (exemplos de projetos dessa modalidade, substituição de geladeiras em grande escala, iluminação pública, substituição de chuveiros elétricos por aquecedores solares, efficientização de sistemas de abastecimento público de água e de irrigação).

² Projetos com Fontes Incentivadas, nessa categoria inclui-se o aproveitamento de fonte com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada disponível.

³ Projetos destinados à melhoria do fator de carga do sistema elétrico por meio da redução e/ou deslocamento da demanda de ponta e pela introdução de novas modalidades tarifárias que estimulem a mudança de hábito do consumidor.

⁴ Projeto Piloto (Projetos Especiais) busca consolidar tecnologias e/ou práticas de eficiência energética, possui características promissoras, inéditas ou inovadoras, que inclui pioneirismo tecnológico e busca experiência para ampliar, futuramente, a escala de execução.

Fonte: Elaborado a partir de ANEEL (2018c)

Essa determinação, de cumprimento obrigatório pelas concessionárias e permissionárias de distribuição de energia elétrica, é alvo de críticas ao programa, onde especialistas afirmam que a decisão prejudica o setor elétrico e põe em risco os resultados do programa, tanto de curto prazo (economia de energia e demanda retirada da ponta), como de médio prazo (mudança de hábitos de consumo e ampliação do mercado de produtos e serviços que promovem a eficiência energética) (ANEEL, 2013b). O setor de baixa renda, responsável por uma parcela de menos de 4% do consumo total de energia elétrica do país (ANEEL, 2013b), recebe a maior parte dos

recursos destinados à eficiência energética, enquanto o setor industrial, responsável pela maior parcela do consumo de energia, de 32,9% de todo o consumo final registrado em 2017 (EPE, 2018c), recebeu somente 2,1% dos investimentos do programa. A eficiência energética é considerada uma atividade técnico-econômica, e, portanto, suas ações devem ser direcionadas aos setores responsáveis pela maior parcela de consumo de energia no país (setores industrial, comercial e de serviços), onde encontra-se também, um grande desperdício de energia, passível à implementação de ações voltadas à eficiência energética (ANEEL, 2013b).

Em contrapartida, dentre os projetos voltados à população de baixa renda, alguns realizam a adequação e regularização das instalações elétricas de consumidores clandestinos, os quais são grandes causadores de perdas comerciais, devido as instalações incompatíveis com os padrões técnicos, o que impacta negativamente na tarifa geral dos demais consumidores. Portanto, a regularização das instalações contribui tanto para a diminuição de desperdícios e riscos de acidentes, como para uma tarifação mais adequada, em geral (VIEIRA *et al.*, 2016).

As tipologias de projetos elegíveis para implementação no âmbito do PEE, bem como, as ações passíveis de implementação de cada tipologia, são apresentas na Tabela 2.7, conforme descrito no Módulo 4 - Tipologias de Projeto, do PROPEE (ANEEL, 2018b).

Tabela 2.7 - Relação das tipologias de projetos do PEE e ações comuns por tipologia

Tipologia	Descrição	Ações
Industrial	Projetos realizados em instalações industriais	-Melhoria de instalação (substituição de equipamentos); -Bônus para equipamentos eficientes; -Aquecimento solar; -Geração com fonte incentivada; -Gestão energética; -Reciclagem de resíduos.
Comércio e Serviços	Projetos realizados em instalações comerciais e no setor de serviços	-Melhoria de instalação (substituição de equipamentos); -Bônus para equipamentos eficientes; -Aquecimento solar; -Geração com fonte incentivada; -Gestão energética; -Reciclagem de resíduos.
Poder Público	Projetos realizados em instalações de responsabilidade de pessoa jurídica de direito público	-Melhoria de instalação (substituição de equipamentos); -Bônus para equipamentos eficientes; -Aquecimento solar; -Geração com fonte incentivada; -Gestão energética; -Reciclagem de resíduos.

Serviços Públicos	Projetos realizados em instalações de serviço público (sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, tração elétrica e demais)	-Melhoria de instalação (substituição de equipamentos); -Bônus para equipamentos eficientes; -Aquecimento solar; -Geração com fonte incentivada; -Gestão energética; -Reciclagem de resíduos.
Rural	Projetos realizados em unidades consumidoras rurais (atuação sobre os processos e métodos de produção rural)	-Ações assemelham-se ao setor industrial, quando estiver relacionada ao setor produtivo (agricultura, pecuária, pesca ou outras atividades), e quando as ações forem realizadas para beneficiar uma residência rural, assemelham-se aos projetos residenciais
Residencial	Projetos realizados em unidades consumidoras residenciais (condomínios)	-Melhoria de instalação para condomínios (substituição de equipamentos); -Bônus para equipamentos eficientes; -Aquecimento solar; -Geração com fonte incentivada; -Gestão energética (condomínios); -Reciclagem de resíduos.
Baixa Renda	Projetos dirigidos a comunidades com unidades consumidoras de baixo poder aquisitivo	-Substituição de equipamentos ineficientes (lâmpadas, refrigeradores, chuveiros elétricos); -Regularização de consumidores clandestinos; -Reformas/instalações nos padrões de entrada; -Reformas/instalações internas de unidades consumidoras; -Instalação de aquecedores solares de água; -Ações educacionais para estimular o uso racional de energia elétrica.
Gestão Energética Municipal	Projetos destinados a melhorar a gestão energética na administração pública	-Capacitação de técnicos municipais em Gestão Energética Municipal; -Criação de uma Unidade de Gestão Energética Municipal (UGEM); -Elaboração de um planejamento do uso da energia elétrica do Município; -Divulgação dos resultados.
Educacional	Projetos educacionais que visam promover a mudança de hábitos	-A metodologia poderá ser a definida pelo PROCEL EDUCAÇÃO, projeto da Eletrobras/PROCEL e do MME, em parceria com o MEC (público-alvo são escolas da rede pública e privada)
Iluminação Pública	Projetos de eficiência energética nos sistemas de iluminação pública municipais	-Utilização de lâmpadas e equipamentos mais eficientes (troca de reatores, ignitores, luminárias, relés fotoelétricos, fiação, braços, postes e elementos de fixação)

Fonte: Elaborado a partir de ANEEL (2018b) e ANEEL (2008a)

Quanto a abrangência das ações de eficiência energética, pode-se citar, melhoria de instalação, aquecimento solar de água, gestão energética, geração de energia elétrica com fontes incentivadas, bônus para equipamentos eficientes e reciclagem de resíduos (ANEEL, 2018b).

No âmbito do PROPEE (ANEEL, 2018b), entende-se melhoria de instalação, por “ações de eficiência energética realizadas em instalação de uso final da energia elétrica, envolvendo a troca e/ou melhoramento do desempenho energético de equipamentos e sistemas de uso da energia”. As ações mais comuns realizadas para melhoria de instalação, compreendem a efficientização de usos finais em iluminação, condicionamento ambiental, sistemas motrizes e sistemas de refrigeração (ANEEL, 2018b).

As ações de eficiência energética em sistemas de aquecimento solar de água referem-se a sistemas de pequeno porte, com reservatórios de até 200 litros. Os cálculos poderão ser adaptados para projetos de substituição de chuveiros elétricos e sistemas centrais de aquecimento elétrico por bombas de calor (ANEEL, 2018b).

A ação de gestão energética tem por objetivo melhorar a gestão do uso final de energia em organizações do setor produtivo ou instituições governamentais por meio da implantação ou melhoria de sistema de gestão da energia. Na gestão energética inclui-se medidas de conscientização, treinamento e capacitação, campanhas de mobilização, divulgação de resultados, aquisição ou melhoria de sistema de controle (ANEEL, 2018b).

A geração de energia elétrica a partir de fontes incentivadas é uma ação que pode ser implementada nos projetos das tipologias Industrial, Comércio e Serviços, Poder Público, Serviços Públicos, Rural, Residencial e Baixa Renda. Considera-se o aproveitamento de fonte com base em energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada disponível (ANEEL, 2018b).

O bônus para equipamentos eficientes consiste na substituição de equipamentos energeticamente ineficientes por outros mais eficientes, considerando recursos do PEE para o pagamento parcial do custo do equipamento, sendo que o restante desse custo, deverá ser pago pelo consumidor beneficiado. Conforme o PROPEE (ANEEL, 2018b), o objetivo dessa ação reside em “aumentar os resultados e impactos dos projetos de eficiência energética, por meio da compra incentivada de equipamentos mais eficientes, compartilhando custos com o consumidor final e ampliando o escopo de atuação do PEE”.

Os projetos de reciclagem de resíduos visam difundir a prática de reaproveitamento de materiais enquanto proporcionam ganhos energéticos, considerando os insumos energéticos que seriam utilizados na fabricação dos mesmos materiais, a partir da matéria-prima bruta extraída da natureza. A literatura apresenta metodologias conforme os materiais envolvidos e aptos à reciclagem, devendo-se considerar nesses projetos específicos, as economias em termos de MWh economizados por tonelada de material reciclado (ANEEL, 2018b).

O MME, juntamente com a EPE, elabora planejamentos de longo e médio prazo para o setor de energia, dentre eles, o Plano Nacional de Energia (PNE) e o Plano Decenal de Expansão de Energia (PDE), os quais indicam metas de eficiência energética. Esses instrumentos de planejamento energético consideram o PEE como a principal fonte de recursos, o que confirma a necessidade de alinhamento das ações do PEE com as diretrizes governamentais (ANEEL, 2018b).

2.4.1 Procedimentos do Programa de Eficiência Energética

Os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética (PROPEE) consistem em um guia determinativo de procedimentos dirigido às distribuidoras, para elaboração e execução de projetos de eficiência energética, os quais são regulados pela ANEEL. No PROPEE são definidos a estrutura e a forma de apresentação dos projetos, os critérios de avaliação e de fiscalização, bem como os tipos de projetos que podem ser realizados com recursos do PEE. Além disso, são apresentados os procedimentos para contabilização dos custos e apropriação dos investimentos realizados (ANEEL, 2018b).

Os objetivos do PROPEE consistem em determinar os documentos que regulamentam a aplicação dos recursos do PEE; determinar as regras e procedimentos para aplicação dos recursos; determinar as regras e procedimentos contábeis para controle dos recursos e prestação de contas; identificar e descrever as tipologias dos projetos que podem integrar o PEE, e estabelecer os critérios de aceitação *ex ante* (fase inicial, antes da implementação, resultados estimados) e *ex post* (fase final, após a implementação, resultados medidos); indicar as ações permitidas e os recursos que podem ser aplicados aos projetos; indicar as regras para apuração dos resultados dos projetos (*ex ante* e *ex post*); estabelecer as informações que deverão compor as propostas e relatórios dos projetos; estabelecer as regras de funcionamento do Plano de Gestão (recursos, aplicações, fluxo de informações, etc.) para permitir a operacionalização do programa (ANEEL, 2018b). O PROPEE é composto por dez módulos, que abrangem os aspectos de projetos do PEE, com múltiplas interligações entre eles. Conforme ANEEL (2018b), os módulos do PROPEE tratam de:

Módulo 1 – Introdução: O Módulo 1 apresenta uma visão geral do PROPEE e o glossário dos termos usados.

Módulo 2 – Gestão do Programa: O Módulo 2 apresenta os aspectos gerenciais que permeiam as ações do PEE.

Módulo 3 – Seleção e Implantação de Projetos: O Módulo 3 apresenta a forma para seleção de projetos ao PEE e orienta quanto à forma de implantação junto ao consumidor ou interessado.

Módulo 4 – Tipologias de Projeto: O Módulo 4 apresenta os tipos de projetos do PEE e suas características principais.

Módulo 5 – Projetos Especiais: O Módulo 5 versa sobre projetos que, por sua relevância ou característica não típica, merece atenção especial, tanto da distribuidora quanto do regulador.

Módulo 6 – Projetos com Fontes Incentivadas: O Módulo 6 aborda os projetos de eficiência energética com adição de fonte incentivada para atender a unidade consumidora.

Módulo 7 – Cálculo da Viabilidade: O Módulo estabelece os diferentes fatores e formas de cálculo que são considerados para verificar se um projeto é viável e pode ser executado no âmbito do PEE, assim como considerar outros possíveis benefícios que podem ser obtidos por um projeto.

Módulo 8 – Medição e Verificação de Resultados: O Módulo 8 estabelece os procedimentos para uma avaliação confiável dos benefícios energéticos auferidos com os projetos.

Módulo 9 – Avaliação dos Projetos e Programa: O Módulo 9 estabelece os procedimentos para a avaliação dos projetos do PEE, inicial e final, e do programa como um todo para o seu aprimoramento.

Módulo 10 – Controle e Prestação de Contas: O Módulo 10 estabelece as diretrizes para a contabilização dos gastos dos projetos.

Devem ser observadas as diretrizes gerais a serem obedecidas na elaboração, execução e gerenciamento de projetos com ações de eficiência energética, conforme estabelecido no PROPEE, que também estabelece o objetivo, abrangência e procedimentos para a implantação de ações de eficiência energética nos usos finais mais comuns e para gestão energética (ANEEL, 2018b).

2.4.2 M&V no âmbito do Programa de Eficiência Energética

Dentre os módulos abordados no PROPEE, o Módulo 8 - Medição e Verificação de Resultados, estabelece os procedimentos para uma avaliação confiável dos benefícios energéticos auferidos com os projetos, estabelecendo as diretrizes para as atividades de M&V, que devem ser empregadas em todos os projetos do PEE para avaliação dos resultados energéticos (ANEEL, 2018b). O Módulo 8 é composto por três seções, além da introdução, sendo (ANEEL, 2018b):

Seção 8.1 – Fundamentos e fases do processo de M&V no PEE: Apresenta a questão da M&V, a relação entre o PIMVP (EVO, 2012) e o PEE e as fases constitutivas da M&V em projetos do PEE.

Seção 8.2 – Elementos da M&V: Orienta no desenvolvimento das diversas fases de M&V ao longo de um projeto do PEE.

Seção 8.3 – Aspectos adicionais: Estabelece diretrizes adicionais para as atividades de M&V relativas à incerteza aceitável, seleção de opção do PIMVP e projetos para Baixa Renda.

Conforme o Módulo 8 (ANEEL, 2018b), a etapa de avaliação dos resultados energéticos dos projetos implantados no âmbito do programa deverá ser fundamentada no PIMVP (EVO, 2012), que caracteriza as práticas mais adequadas disponíveis na atualidade, para medir e verificar os resultados oriundos de projetos de eficiência energética. O PIMVP não estabelece as medições que devem ser realizadas, nem variáveis ou modelos a serem considerados, devido a diversidade de situações passíveis de implementação na prática. Portanto, o protocolo determina apenas requisitos e cuidados que devem ser observados, bem como, critérios para selecionar as variáveis e opções disponíveis para avaliar a eficiência energética (ANEEL, 2018b). A Figura 2.4 ilustra brevemente as fases de M&V durante um projeto do PEE.

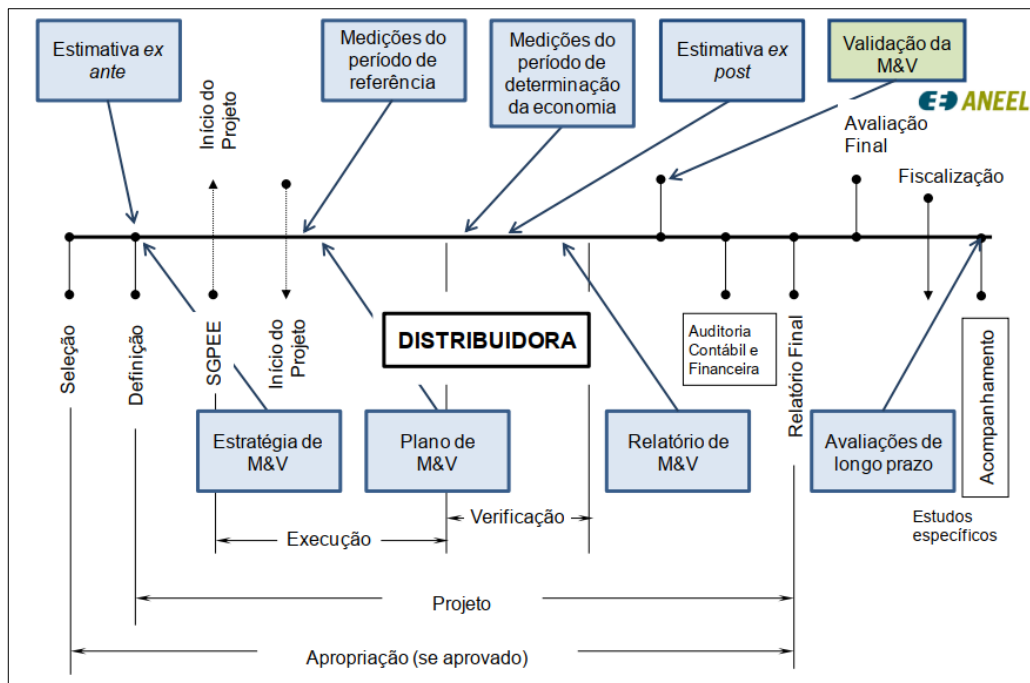


Figura 2.4 - Fases de M&V durante um projeto do PEE

Fonte: ANEEL (2018b)

Conforme a Figura 2.4, a etapa de avaliação *ex ante*, por meio de valores estimados, é realizada na fase de definição, quando se estima os resultados esperados com a implantação do projeto, por meio de procedimentos baseados em análises de campo, dados típicos, experiências anteriores e cálculos de engenharia. A estimativa *ex ante* pode ser realizada de acordo com o uso final, utilizando as orientações do Módulo 4 - Tipologias de Projeto, e podem ser acrescentados outros elementos, conforme o caso específico do projeto. Para a estratégia de M&V, deve-se conhecer o uso da energia e sua relação com a rotina da instalação, onde são definidas as bases para as atividades de M&V, tais como, as variáveis independentes, a fronteira

de medição, a opção do PIMVP, o modelo do consumo da linha de base e o cálculo das economias (ANEEL, 2018b).

Para a etapa de medições do período da linha de base, esta deve consistir na primeira atividade da fase de execução, anterior a implementação das medidas propriamente ditas. Nessa fase, considera-se medições do consumo e demanda e das variáveis independentes relativas ao mesmo período. Após as medições do período da linha de base e o estabelecimento do padrão de consumo e demanda desse período, deve-se elaborar o Plano de M&V, contendo todos os procedimentos e considerações para o cálculo das economias, conforme recomendações do PIMVP (ANEEL, 2018b). O Guia de M&V fornece modelos de Planos de M&V de algumas das ações mais usuais implementadas no PEE.

Uma vez implantadas as AEEs e realizada a sua verificação operacional, devem ser feitas as medições do período de determinação da economia. Para contratos de desempenho energético, podem prevalecer os termos do contrato quanto à periodicidade de medição. Englobam, assim como no período da linha de base, medições do consumo e demanda e das variáveis independentes relativas ao mesmo período (ANEEL, 2018b). O PIMVP sugere que a “duração do período de determinação da economia deve ser definido 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).

Na etapa da estimativa *ex post*, após as medições, calculam-se as economias conforme definido no Plano de M&V, sendo valoradas conforme definido, podendo-se também, calcular a RCB do projeto. No caso de a RCB exceder a 0,8 (ou o valor definido conforme o Módulo 7 - Cálculo da Viabilidade), o investimento a ser apropriado pela distribuidora ao PEE será reduzido conforme descrito no Módulo 9 - Avaliação dos Projetos e Programa. Atingir uma precisão de 10% com 95% de confiabilidade nos projetos de eficiência energética garante investimentos vantajosos para a sociedade, já que a RCB máxima está fixada em geral em 0,8 (salvo casos específicos). As considerações a respeito das incertezas deverão ser realizadas nesta fase, porém, deve-se apenas relacionar os principais fatores de incertezas nos resultados obtidos (incertezas devido a modelagem, amostragem e medição) (ANEEL, 2018b).

Após, deve-se emitir o Relatório de M&V, com os resultados das medições e do cálculo das economias. O Módulo 8 estabelece os itens que devem constar no Relatório de M&V, baseado no PIMVP, também, o Guia de M&V traz modelos de Relatórios de M&V de alguns usos finais comuns implementadas no PEE. 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 e ao PIMVP. As avaliações de longo prazo, que no caso de contratos de desempenho energético podem ser feitas ao longo do contrato em vários períodos de determinação da economia, no caso dos projetos do PEE serão feitas por estudos específicos que serão definidos pela ANEEL (ANEEL, 2018b).

A engenharia de M&V é um processo complexo, que exige conhecimento da instalação, do uso da energia realizado nesta, de técnicas de medição e análise, como também, de aspectos gerenciais do projeto. Dada a complexidade do processo, a ANEEL vem buscando conciliar as técnicas reconhecidas do PIMVP com a realidade de seus projetos, visando definir metodologias específicas para os usos finais adotados no PEE, tendo o PIMVP como guia, porém adaptando-o à realidade do PEE (ANEEL, 2018b). Para tal, foi desenvolvido por meio da parceria entre a Sociedade Alemã de Cooperação Internacional (GIZ, do alemão *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH*) e a ANEEL, o Guia de M&V para o PEE. Este guia tem por objetivo a padronização e o detalhamento das ações de M&V para apuração de resultados das ações de eficiência energética mais comuns no programa, observando as recomendações do PIMVP (EVO, 2012) e considerando a consultoria contratada, visando estabelecer requisitos mínimos para a M&V do PEE, desenvolvida para o Instituto ABRADÉE (ICF INTERNATIONAL; JORDÃO ENGENHARIA; PUC-RIO, 2011). A aplicação do Guia de M&V para o PEE oportuniza a formação de um banco de dados em nível nacional, possibilitando maior clareza dos resultados, planejamento e melhorias das ações do programa (GARCIA, 2014).

Para o caso específico de projetos para baixa renda, que envolvem ações de eficiência energética em múltiplas instalações de pequeno porte, a aplicação de procedimentos de M&V pode ser desafiadora, uma vez que o PIMVP é concebido para projetos de maior porte. Recomenda-se que para explicar a variação do consumo entre as unidades residenciais de baixa renda, as variáveis independentes devem englobar variáveis econômicas e sociais (por exemplo, o número de pessoas e a renda familiar), como as usadas nos Censos Demográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), sem prejuízo dos elementos de M&V. Em casos de não ser identificada a dependência direta que possa caracterizar uma variável independente, o registro das variáveis é importante para auxiliar nos estudos de longo prazo. Além da opção do PIMPV selecionada para medição dos resultados, o registro das faturas de energia elétrica dos últimos 12 meses dos clientes, bem como o rastreamento para possibilitar futuras verificações do consumo, também serão fundamentais para auxiliar nos estudos de longo prazo objetivados pela ANEEL (ANEEL, 2018b).

3 METODOLOGIA

Os dados dos projetos de eficiência energética implementados no âmbito do PEE foram obtidos junto à ANEEL, a qual é o órgão responsável pela gestão e fiscalização do programa. A ANEEL disponibiliza publicamente, planilhas com dados gerais dos projetos registrados e concluídos do programa, porém, para informações detalhadas, como é o caso dos procedimentos de M&V, é necessária a análise de documentos individuais de cada projeto, neste caso, o relatório final, relatório de M&V e relatório de auditoria contábil e financeira, referentes aos projetos concluídos.

Dentre os projetos de eficiência energética concluídos no contexto do PEE, a análise da etapa de M&V concentrou-se em três categorias de projetos, consistindo em projetos executados em residências de consumidores de baixo poder aquisitivo (tipologia baixa renda), prédios públicos (tipologia poder público) e empresas de saneamento (tipologia serviços públicos). De modo geral, têm-se as informações de projetos concluídos até junho de 2018, para as tipologias baixa renda, poder público e serviços públicos, conforme a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Relação de projetos de eficiência energética concluídos até junho de 2018

Tipologia	Projetos concluídos	RCB média	Energia economizada (GWh/ano)	Demanda retirada da ponta (MW)	Investimento (milhões R\$)	Investimento médio/projeto (milhões R\$)
Baixa Renda	253	0,51	1.212,99	433,25	1.182,14	4,67
Poder Público	290	0,59	279,74	57,84	289,43	1,00
Serviços Públicos	106	0,55	115,81	25,01	140,97	1,33

Fonte: Elaborado a partir de ANEEL (2018d)

Dada a diversidade de projetos e usos finais abordados, as análises foram realizadas em uma amostra contendo três tipologias. Cada tipologia foi estudada separadamente, para a análise da M&V de ações envolvendo a melhoria de instalação. Após separar os projetos desenvolvidos no PEE por tipologias, a seleção da amostra de projetos considerou, inicialmente, projetos que continham os usos finais em iluminação e/ou refrigeração para baixa renda; iluminação e/ou condicionamento de ar para poder público; e para os projetos de saneamento (serviços públicos), considerou-se todos os projetos encontrados, uma vez que a população de projetos é menor, em relação às outras tipologias. Projetos que continham demais usos finais foram descartados, bem como, projetos com inconsistências, investimentos diferentes daqueles auditados pela ANEEL e projetos com arquivos faltantes.

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma da metodologia utilizada para análise das atividades de M&V dos projetos, sendo descrito com mais detalhes nas seções 3.2 e 3.3.

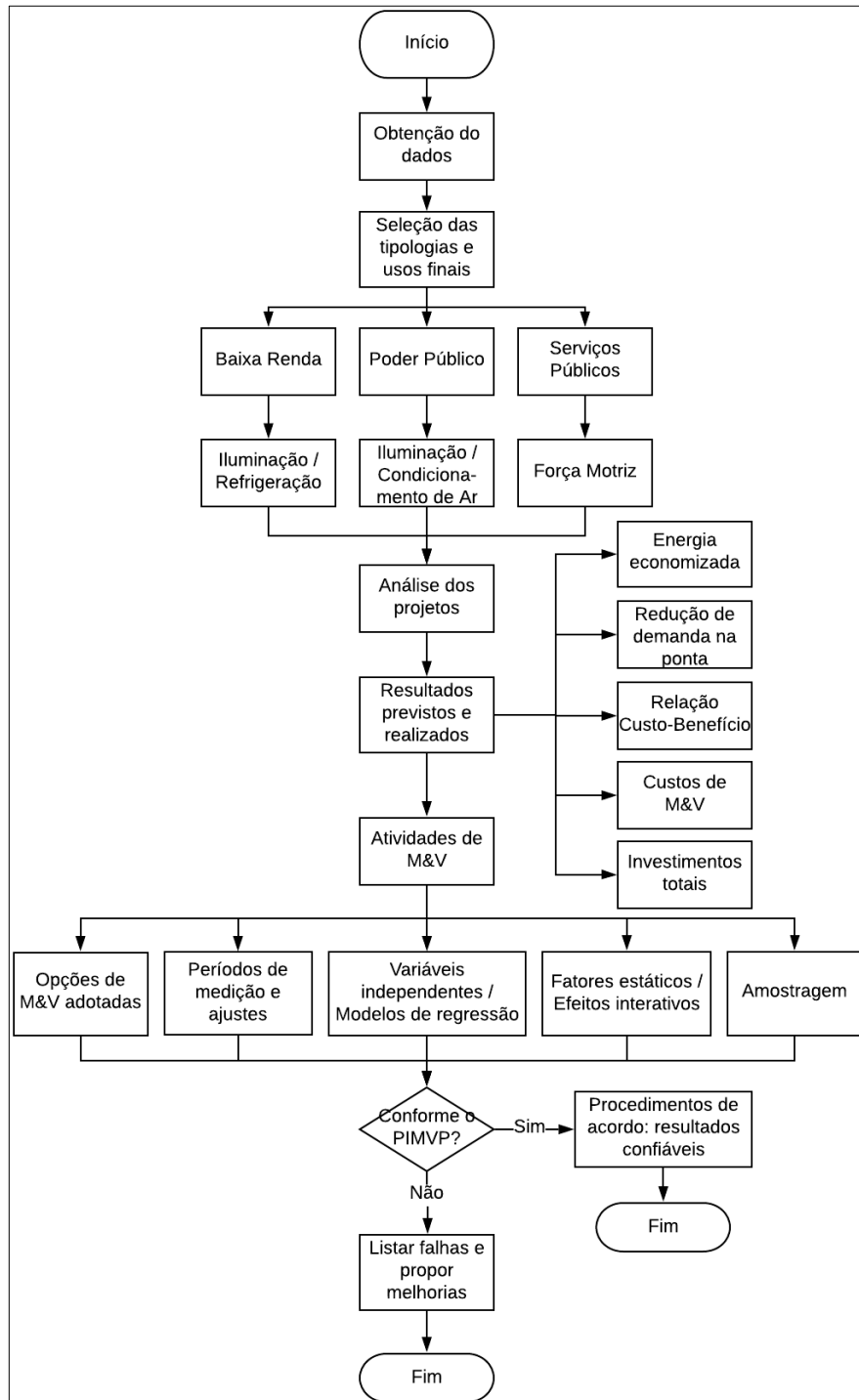


Figura 3.1 - Fluxograma de ações propostas

A Tabela 3.2 traz algumas informações gerais a respeito da amostra dos projetos do PEE analisados no presente trabalho. A relação dos projetos analisados consta no Apêndice B.

Tabela 3.2 - Informações gerais dos projetos de eficiência energética analisados

Tipologia	Quantidade de projetos	Quantidade de concessionárias	Uso final
Baixa Renda	76	42	Iluminação/Refrigeração
Poder Público	65	25	Iluminação/Condicionamento de Ar
Serviços Públicos	31	12	Força motriz

A Figura 3.2 apresenta a distribuição da amostra analisada, de acordo com as regiões geográficas de implementação dos projetos. A Figura 3.3 apresenta o tamanho da amostra de projetos analisada, em relação a quantidade total de projetos concluídos para cada tipologia.

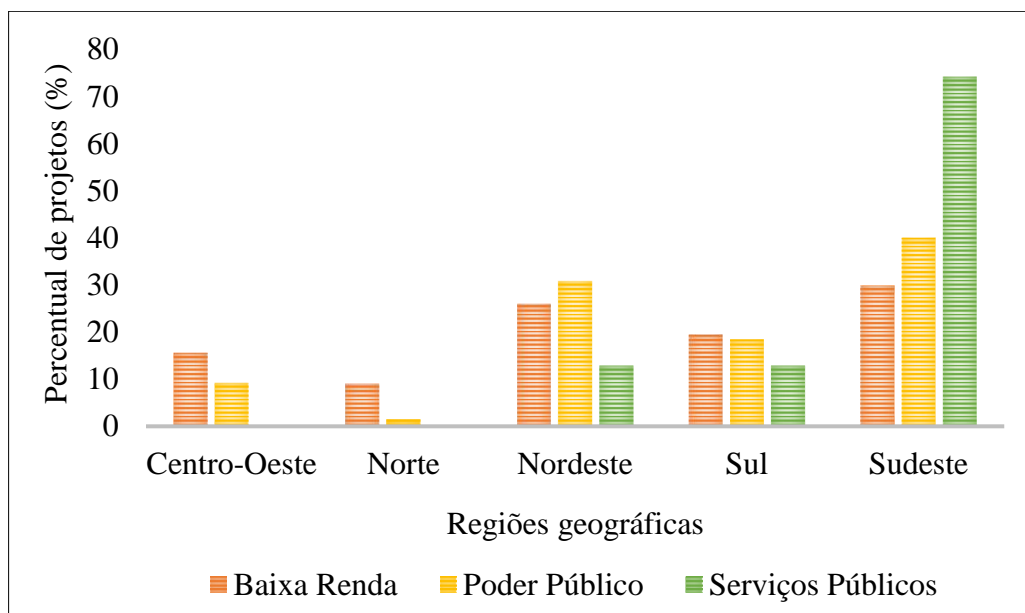


Figura 3.2 - Distribuição regional da amostra de projetos analisada por tipologia

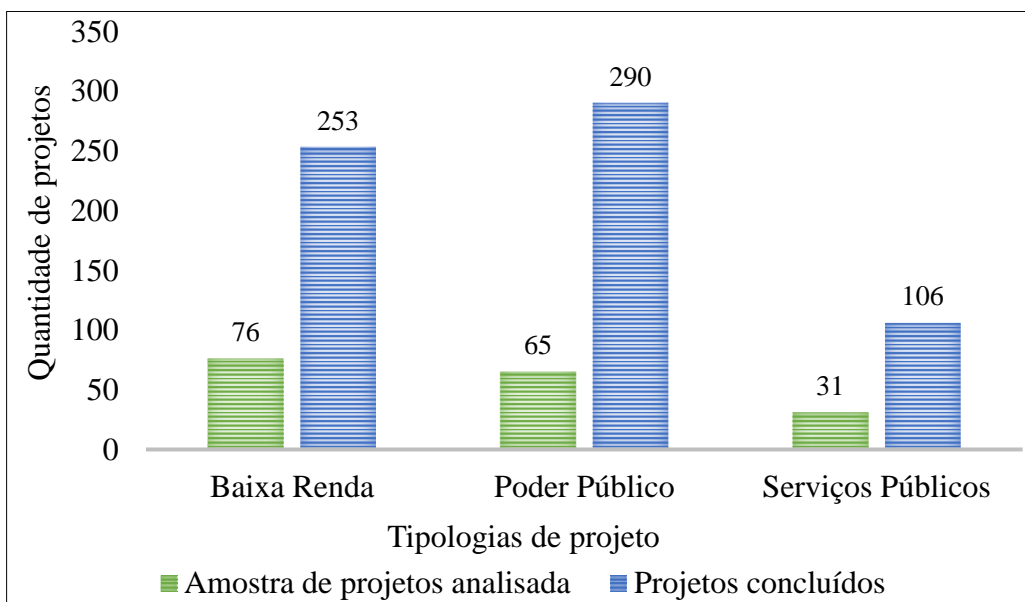


Figura 3.3 - Quantidade de projetos analisados e projetos concluído por tipologia

A quantidade de projetos analisada da tipologia baixa renda corresponde à 30,04% do total de projetos concluídos, enquanto para as tipologias poder público e serviços públicos, este percentual corresponde à 22,41% e 29,25%, respectivamente.

3.1 Descrição das tipologias de projeto

As próximas seções descrevem brevemente as três tipologias de projetos consideradas neste trabalho, para a análise das atividades de M&V.

3.1.1 Tipologia Baixa Renda

Dentre os projetos concluídos da tipologia baixa renda, foi selecionada uma amostra de projetos com ações de eficiência energética voltadas à iluminação e refrigeração, a fim de analisar os procedimentos de M&V adotados. Embora existam projetos de baixa renda que contemplem outros usos finais, como por exemplo, a substituição de chuveiros elétricos por aquecimento solar de água, optou-se pela análise da M&V de sistemas de iluminação (substituição de lâmpadas) e refrigeração (substituição de geladeiras), visto que são os usos finais frequentemente eficientizados em projetos desta tipologia, com o maior número de equipamentos substituídos.

A quantidade de projetos selecionada para análise consistiu em 76, os quais foram implementados entre 2008 a 2017, dentre 42 distribuidoras de energia elétrica. Dos 76 projetos, 74 contemplaram os usos finais em iluminação e refrigeração e 2 contemplaram apenas AEEs envolvendo refrigeração.

3.1.2 Tipologia Poder Público

Para os projetos concluídos da tipologia poder público, foi selecionada uma amostra de projetos com ações de eficiência energética voltadas à sistemas de iluminação e condicionamento de ar, com o objetivo de analisar os procedimentos de M&V adotados. Ambos os usos finais, são responsáveis pela maior parcela de consumo dos edifícios públicos, sendo constatado com frequência, a antiguidade e ineficiência dos equipamentos instalados nessas edificações. Para o consumo de energia elétrica dos equipamentos de condicionamento de ar, necessita-se estabelecer as variáveis independentes (temperatura, ocupação) que influenciam na variação do consumo deste, de modo a determinar de forma confiável, um modelo de

consumo de acordo com a mudança dessas variáveis. Na tipologia do poder público, encontra-se uma grande variedade de prédios públicos, sendo consideradas, escolas, delegacias de polícia, fóruns, hospitais, secretarias de estado, agências estaduais, assembleias legislativas, tribunais de justiça, dentre outras.

A quantidade de projetos desta tipologia selecionada para análise consistiu em 65, os quais foram implementados durante o período de 2008 a 2016, dentre 25 concessionárias de distribuição de energia elétrica. Dos 65 projetos, 33 contemplaram os usos finais de iluminação e condicionamento de ar, 9 contemplaram apenas AEEs envolvendo condicionamento de ar, e 23 projetos contemplaram AEEs sobre o uso final de iluminação.

3.1.3 Tipologia Serviços Públicos

No âmbito do PEE, os projetos voltados à tipologia de serviços públicos consistem em projetos implementados em uma diversidade de locais, incluindo escolas, hospitais e associações beneficentes. Além destes, têm-se os projetos voltados a empresas prestadoras de serviços de saneamento, onde as atividades de captação, tratamento e distribuição de água, além das relacionadas ao esgotamento sanitário, possuem a energia elétrica como principal insumo.

As empresas prestadoras de serviços de saneamento possuem um enorme potencial de eficiência energética em suas instalações, devido ao envelhecimento gradual dos sistemas de abastecimento, aliado a falta de medidas de reabilitação e manutenção preventiva, acarretando um impacto negativo na eficiência energética desses sistemas. Com isso, a eficiência energética traz benefícios rentáveis para as empresas desse ramo, dado o enorme potencial de eficiência encontrado em equipamentos obsoletos, com pouca ou nenhuma gestão energética de seus sistemas. Por outro lado, para o estabelecimento de um modelo de consumo de energia elétrica, os procedimentos de M&V envolvidos são mais complexos, dada a quantidade de fatores que podem afetar o consumo de energia nas atividades de saneamento.

Para a análise, foi levantada a quantidade de 31 projetos de eficiência energética implantados em prestadoras de serviços de saneamento do país, realizados por 12 concessionárias de distribuição de energia elétrica. Os projetos em questão foram executados durante o período de 2008 a 2015. Ressalta-se que essa quantidade de projetos consistiu no total de projetos concluídos para o setor de saneamento, levantados dentre a relação de projetos concluídos disponibilizada pela ANEEL. As principais ações envolvendo projetos na área de saneamento, no uso final de força motriz, consistem na substituição de conjuntos motobomba,

instalação de inversores de frequência e soft-starters, dentre outras, que promovem o deslocamento da carga de bombeamento para horários fora da ponta.

3.2 Descrição das análises realizadas

Na etapa de análise inicial, para as três tipologias de projeto, foram apresentados os resultados gerais previstos e realizados, referentes à energia economizada (GWh/ano), redução de demanda em horário de ponta (MW), relação custo-benefício média, investimentos totais e investimentos médios por projeto. Foram levantados os resultados de acordo com a região geográfica, bem como, os custos de M&V por tipologia, e o percentual representativo dos custos com atividades de M&V por projeto de cada tipologia. Também foram averiguadas e explanadas as causas responsáveis pelas divergências entre os resultados previstos na etapa inicial do projeto e os resultados efetivamente realizados. Além disso, elaborou-se indicadores referentes ao custo de economizar uma unidade de energia elétrica e de reduzir uma unidade de demanda da ponta, de modo a possibilitar a análise da tipologia que possui melhor eficiência na alocação de recursos financeiros.

Para a etapa da análise da M&V, foram avaliadas as opções de M&V adotadas, conforme o PIMVP (da Tabela 2.3), de acordo com os parâmetros medidos (opção A e B) e estimados (opção A), bem como, quanto aos procedimentos aplicados à aferição de resultados para a opção C. A opção D não foi abordada, uma vez que não houve projetos que adotaram essa opção. O objetivo principal, partindo da análise das opções de M&V selecionadas, foi verificar a concordância entre as recomendações do PIMVP para a seleção das opções, com os parâmetros definidos por medições/estimativas, para estabelecer os valores de energia evitada e demanda reduzida da ponta. Foram também, verificados os parâmetros frequentemente medidos e os parâmetros estimados, os períodos de medição utilizados e os critérios utilizados para a amostragem de equipamentos.

Além disso, foi avaliado se os projetos apresentaram a consideração de variáveis independentes e a elaboração de modelos de regressão, que explicam o consumo de energia dos usos finais envolvidos, naqueles em que se espera que o consumo seja influenciado por essas variáveis, como em refrigeração, condicionamento de ar e força motriz. A existência de variáveis independentes influencia o modelo de consumo de equipamentos ou sistemas, podendo alterar os valores de energia economizada ao longo do tempo, portanto, é fundamental estabelecer um modelo de consumo apropriado, que inclua todas as variações possíveis ocasionadas por essas variáveis.

Dentre os usos finais selecionados para a análise da M&V, refrigeração, condicionamento de ar e força motriz, estão suscetíveis à influência de variáveis independentes, requerendo uma metodologia de M&V mais detalhada. Sabe-se que o consumo de energia elétrica em refrigeradores é influenciado pela temperatura ambiente, bem como pelo número de pessoas da residência. A temperatura ambiente, expressa em graus-dia de resfriamento (GDR), principalmente entre as diferentes estações do ano, influencia fortemente no consumo de energia elétrica dos condicionadores de ar, bem como a ocupação do local que está sendo refrigerado ou aquecido. Por sua vez, as variáveis que influenciam o consumo de energia elétrica em saneamento são diversas, em geral, produção de água, água consumida, água elevada, população abastecida, produção, clima, taxa de ocupação do Município, dentre outras.

Ademais, em projetos que as variáveis independentes não foram consideradas, pretende-se verificar as justificativas ou a ausência de correlações entre as variáveis, para a desconsideração destes parâmetros. Além das variáveis independentes, será investigada a inclusão de efeitos interativos e fatores estáticos nas alterações do consumo de energia, bem como, a inserção de ajustes na linha de base em virtude da presença de parâmetros variáveis.

As análises mencionadas foram conduzidas para cada tipologia, buscando comparar os padrões de procedimentos de M&V adotados entre as tipologias, e, entre as diferentes regiões do país. Por fim, foi mensurada a quantidade de equipamentos eficientes introduzidos nos projetos (lâmpadas e refrigeradores para baixa renda, lâmpadas e condicionadores de ar para o poder público, motores, bombas e demais equipamentos para saneamento), de modo a ter um maior entendimento sobre a dimensão dos projetos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir da análise de uma amostra de projetos, bem como, realizada a discussão destes resultados.

4.1 Resultados gerais dos projetos

A Tabela 4.1 apresenta resultados gerais previstos e realizados da amostra de projetos analisada, de acordo com a tipologia de projeto, considerando a quantidade de projetos selecionados para análise, a RCB média, a energia economizada, a demanda retirada da ponta, investimento total e investimento médio por projeto.

Tabela 4.1 - Resultados previstos e realizados dos projetos analisados por tipologia

Tipologia	Baixa Renda	Poder Público	Serviços Públicos
Projetos analisados	76	65	31
RCB média prevista	0,58	0,69	0,53
RCB média realizada	0,50	0,60	0,43
Energia economizada prevista (GWh/ano)	352,07	57,55	72,90
Energia economizada realizada (GWh/ano)	404,27	56,99	86,81
Demanda retirada da ponta prevista (MW)	111,79	13,48	15,52
Demanda retirada da ponta realizada (MW)	128,99	11,50	18,76
Investimento previsto (10 ⁶ R\$)	340,54	68,73	70,60
Investimento realizado (10 ⁶ R\$)	345,06	61,73	69,85
Investimento médio previsto/projeto (10 ⁶ R\$)	4,48	1,06	2,28
Investimento médio realizado/projeto (10 ⁶ R\$)	4,54	0,95	2,25

Conforme os resultados apresentados na Tabela 4.1, os projetos de eficiência energética em saneamento, enquadrados na tipologia de serviços públicos, possuem a menor RCB realizada, dentre as tipologias de projetos analisadas, sendo de 0,43, enquanto a tipologia poder público apresentou a maior RCB, de 0,60. Os valores médios de RCB apresentados pelas três tipologias estão abaixo do critério de avaliação econômica de viabilidade de um projeto do PEE, que considera que a RCB calculada pela ótica do sistema elétrico e do ponto de vista do PEE seja igual ou inferior a 0,80. A RCB varia de 0 (zero) a 1 (um), e considera-se que quanto menor (mais próximo de zero) a RCB apresentada por um projeto de eficiência energética, melhor é a viabilidade deste projeto, pois os benefícios proporcionados pelas AEEs implementadas são superiores aos custos envolvidos na execução destas. Os valores da RCB realizada superaram

os valores previstos, indicando uma melhoria na viabilidade dos projetos após a sua execução, em comparação com os valores esperados, calculados na etapa de diagnóstico energético.

Com exceção da tipologia poder público, as demais tipologias apresentaram resultados realizados de energia economizada e redução de demanda na ponta superiores aos valores previstos, indicando que foram utilizadas metas conservadoras para as economias previstas nestes projetos, sendo os projetos implementados capazes de superar as metas de economia impostas. Quanto aos investimentos, a tipologia de baixa renda obteve um investimento realizado maior do que o previsto, enquanto as demais tipologias, tiveram seus investimentos totais realizados abaixo do valor previsto inicialmente. Este fato é comentado no decorrer do trabalho, nas seções específicas de cada tipologia.

O maior investimento realizado foi para projetos de baixa renda, inclusive sendo a tipologia com o maior valor de investimento médio por projeto, visto que cada projeto normalmente engloba muitas unidades consumidoras de clientes de baixo poder aquisitivo. Isso pode ser percebido também, pelos elevados resultados de energia economizada e demanda retirada da ponta.

A Tabela 4.2 exibe informações gerais dos projetos, por região do país, objetivando identificar padrões entre as diferentes concessionárias de distribuição de energia elétrica que executam projetos de eficiência energética no âmbito do PEE.

Tabela 4.2 – Resultados gerais dos projetos analisados por região

Tipologia	Região	Número de projetos	RCB média	EE (GWh/ano)	RDP (MW)	Investimento (10 ⁶ R\$)	Investimento/projeto (10 ⁶ R\$)
Baixa Renda	CO	12	0,51	82,74	18,60	46,67	3,89
	N	6	0,36	25,82	7,50	27,25	4,54
	NE	20	0,53	160,84	46,44	158,83	7,94
	S	15	0,58	38,73	19,71	37,30	2,49
	SE	23	0,46	96,15	36,73	75,01	3,26
	Total		76	0,50	404,27	128,99	345,06
Poder Público	CO	6	0,73	1,04	0,45	3,15	0,53
	N	1	0,33	0,54	0,16	0,59	0,59
	NE	20	0,54	10,59	2,09	11,56	0,58
	S	12	0,64	4,02	1,01	5,82	0,48
	SE	26	0,60	40,80	7,80	40,61	1,56
	Total		65	0,60	56,99	11,50	61,73
Serviços Públicos	NE	4	0,38	6,01	0,68	3,46	0,87
	S	4	0,50	3,15	2,10	4,43	1,11
	SE	23	0,43	77,66	15,97	61,96	2,69
	Total		31	0,43	86,81	18,76	69,85

A Tabela 4.2 apresenta o melhor valor médio de RCB de projetos baixa renda para a região Norte (0,36), enquanto o pior valor médio de RCB é dado na região Sul (0,58). Para projetos do poder público, verifica-se que a maior RCB foi na região Centro-Oeste (0,73), e a menor, na região Norte (0,33). Para os projetos em saneamento, a maior RCB foi na região Sul (0,50), enquanto a menor RCB foi na região Nordeste (0,38).

O principal fator ligado à essas variações significativas da RCB entre regiões, é a diferença entre os benefícios previstos e realizados, e os custos efetivamente negociados para a implementação do projeto, visto que também, são bastante variáveis, dependendo da região. Como na etapa de elaboração do diagnóstico energético, os valores envolvidos são muitas vezes, dados por estimativas, sem a efetiva medição dos parâmetros, os benefícios obtidos ao final podem ser menores do que o esperado, o que impacta negativamente a RCB. Aliado a isso, alguns imprevistos no decorrer do projeto podem ocorrer, necessitando de um maior investimento do que o previsto inicialmente. Ambos os fatores contribuem para o aumento da RCB final, impactando de forma negativa a viabilidade dos projetos.

A Tabela 4.3 apresenta dados referentes ao percentual de recursos financeiros destinados as atividades de M&V por projeto, conforme as tipologias.

Tabela 4.3 - Investimentos totais e custos de M&V por tipologia de projeto

Tipologia	Investimento (10 ⁶ R\$)	Custos de M&V (10 ³ R\$)	Percentual médio dos custos de M&V por projeto (%)
Baixa Renda	345,06	1.744,25	2,50
Poder Público	61,73	1.448,55	5,24
Serviços Públicos	69,85	3.314,96	6,33

Nota: O cálculo do percentual de custos de M&V em relação ao custo total dos projetos refere-se à 63,6% dos projetos de baixa renda, 80% do poder público e 96,8% de serviços públicos analisados, pois alguns projetos não especificaram os custos de M&V, incluindo o valor da M&V com demais serviços prestados.

De acordo com os dados da Tabela 4.3, os projetos realizados em serviços públicos demonstraram possuir o maior valor médio para a M&V executada, correspondendo à 6,33% dos custos do projeto, enquanto os projetos de baixa renda apontaram o menor valor para os custos com M&V, de apenas 2,50%. Com isso, identifica-se que quanto maior a complexidade a respeito do padrão de consumo dos usos finais envolvidos, maior é o custo para realizar as atividades de M&V, como é o caso de projetos de serviços públicos, que envolvem força motriz, e de projetos do poder público, que envolvem condicionamento de ar. Em contrapartida, baixa renda possui o menor percentual médio de custos com M&V por projeto, dada a predominância da utilização da Opção A do PIMVP para aferição das economias, com estimativas de parâmetros e muitas simplificações envolvidas no processo.

A Tabela 4.4 apresenta indicadores a respeito do investimento dispendido por energia economizada e por demanda retirada da ponta, de modo a comparar entre as tipologias, qual possui um menor custo, enquanto proporciona maiores benefícios.

Tabela 4.4 - Comparação de indicadores de R\$/MWh e R\$/kW economizados

Tipologia	Indicador de custo por unidade de energia economizada (R\$/MWh)	Indicador de custo por unidade de demanda retirada da ponta (R\$/kW)
Baixa Renda	53,85	216,41
Poder Público	61,58	262,49
Serviços Públicos	44,45	175,98

Conforme apresentado pela Tabela 4.4, a tipologia de serviços públicos, englobando os projetos de saneamento em específico, obtiveram o menor custo por unidade de energia economizada (R\$/MWh) e de demanda retirada da ponta (R\$/kW). Embora consistam em projetos com maiores custos em M&V, e com investimentos totais normalmente elevados, os projetos são os mais atrativos entre as três tipologias analisadas, dado o grande potencial de conservação de energia presente nesses sistemas. Em contrapartida, nota-se que os indicadores para projetos do poder público são superiores em relação às demais tipologias, apontando que o custo para reduzir a energia elétrica consumida e a demanda da ponta são mais elevados.

A análise de indicadores de R\$/MWh e R\$/kW pode auxiliar em uma destinação mais eficiente dos recursos financeiros, visto que os objetivos dos projetos do PEE consistem em ampliar os valores de energia economizada e de demanda reduzida da ponta, utilizando de forma mais eficiente os recursos disponíveis. Os indicadores ainda possibilitam acompanhar a evolução dos custos ao longo do tempo, de modo a verificar se o processo em si, está buscando ser mais eficiente na destinação dos recursos e na promoção de benefícios.

4.2 Avaliação da M&V por tipologia

As seções seguintes apresentam a avaliação em detalhes sobre os procedimentos de M&V observados nos projetos de eficiência energética para cada tipologia.

4.2.1 Resultados da tipologia Baixa Renda

A Tabela 4.5 apresenta os resultados gerais previstos e realizados dos projetos de baixa renda, de acordo com os usos finais envolvidos.

Tabela 4.5 - Resultados previstos e realizados em baixa renda de acordo com o uso final

Uso final	EE prevista (GWh/ano)	EE realizada (GWh/ano)	RDP prevista (MW)	RDP realizada (MW)	RCB prevista	RCB realizada
Iluminação	223,68	282,15	93,81	112,15	0,19	0,18
Refrigeração	114,60	122,12	13,96	16,84	2,50	1,82
Total	352,07	404,27	111,79	128,99	0,58	0,50

Nota: Os valores previstos de energia economizada, redução de demanda na ponta e RCB, para os usos finais Iluminação e Refrigeração, consideraram 97,3% dos projetos compostos por Iluminação, e 94,7% dos projetos compostos por Refrigeração. Os valores previstos para “Total” correspondem à 100% dos projetos analisados.

A maior parcela de energia economizada e demanda retirada da ponta é atribuída ao sistema de iluminação, enquanto a RCB deste uso final se mantém muito atrativa, e menor do que a RCB de refrigeração. Embora a RCB individual de refrigeração apresenta o valor médio de 1,82 (sendo maior do que 1,0), no cálculo da RCB geral do projeto, consegue-se uma RCB dentro dos limites de valores aceitáveis para projetos dessa tipologia. Verifica-se este fato pela RCB média geral de 0,50, devido aos baixos valores normalmente apresentados para a RCB individual de iluminação, que compensa o alto valor médio da RCB de refrigeração.

Em geral, os valores realizados para energia economizada e redução de demanda na ponta foram satisfatórios, superando os valores previstos inicialmente. A RCB geral dos projetos executados também apresentou melhorias em relação à RCB prevista, pois quanto menor a RCB, melhor é seu indicativo de viabilidade de um projeto. Também verificou-se que o investimento total previsto para os projetos analisados, foi de R\$ 340,54 milhões, enquanto o investimento efetivamente realizado foi de R\$ 345,06, uma diferença de apenas 1,31% no aumento dos custos previstos. A Tabela 4.6 traz informações sobre investimentos totais, custos de M&V e percentual médio de custos de M&V por projeto, para projetos de baixa renda.

Tabela 4.6 – Investimento e custos de M&V para a tipologia baixa renda por região

Região	Investimento total (10 ⁶ R\$)	Custos de M&V (10 ³ R\$)	Percentual médio dos custos de M&V por projeto (%)
CO	46,67	417,28	2,07
N	27,25	96,45	0,52
NE	158,83	721,48	0,67
S	37,30	320,91	5,04
SE	75,01	188,13	3,50
Total	345,06	1.744,25	2,50

Nota: Para o cálculo do percentual médio de custos de M&V por projeto, considerou-se 91,7% dos projetos do CO, 50,0% do N, 70% do NE, 66,7% do S e 47,8% do SE, os quais discriminaram os custos de M&V separadamente de outros serviços.

Conforme apresentado pela Tabela 4.6, a região Sul correspondeu à região com o maior custo médio para as atividades de M&V por projeto, sendo equivalente à 5,04%. Por outro lado, a região Norte apresentou o menor valor de custo médio para a M&V, de apenas 0,52%, sendo apresentada anteriormente, como a região com o melhor valor de RCB média para os projetos de baixa renda executados.

Percebe-se a tendência de baixos custos dispendidos com as atividades de M&V para baixa renda, em comparação à outras tipologias de projeto. Isso demonstra que as atividades são simplificadas, com a predominância da adoção da Opção A do PIMVP, e estimativas para o cálculo das economias. Este fato também foi verificado por Kaiser e Pulsipher (2010), que afirmam que, devido às grandes despesas de capital envolvidas, as instalações industriais e de comércio e serviços, possuem a tendência de adotarem metodologias para avaliar programas de conservação de energia, conforme protocolos reconhecidos, mas os programas residenciais tendem a estar sujeitos a critérios e métricas de desempenho menos rigorosos.

A Figura 4.1 apresenta uma comparação regional entre a RCB prevista e realizada para os usos finais em iluminação e refrigeração. Para iluminação, as regiões Norte e Nordeste apresentaram uma RCB realizada maior do que a RCB prevista, ou seja, um indicativo de que os custos previstos foram maiores na etapa de execução dos projetos ou o benefício obtido foi menor do que o benefício previsto. Isso indica que a RCB realizada, foi de certa forma, menos viável do que a prevista, para essas duas regiões.

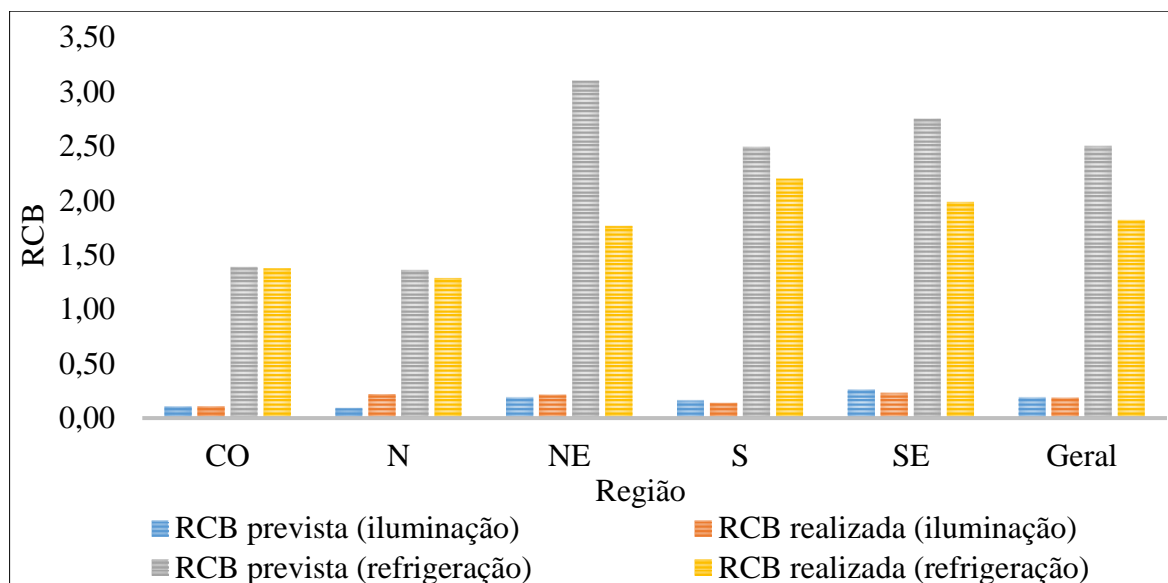


Figura 4.1 - Comparação regional entre RCB prevista e realizada em baixa renda

Entretanto, de modo geral, a RCB realizada (0,18) para os projetos de iluminação em baixa renda, superaram positivamente a RCB prevista (0,19) no diagnóstico energético inicial

dos projetos. Em contrapartida, a RCB realizada para refrigeração foi menor do que a RCB prevista para todas as regiões, apresentando médias gerais com uma grande divergência, sendo a RCB geral prevista de 2,50 e a RCB geral realizada de 1,82. Os projetos envolvendo o uso final de refrigeração não são realizados de forma individual, mas sim, executados conjuntamente com outras ações, normalmente envolvendo o uso final de iluminação. Para o cálculo da RCB geral do projeto é considerada a média ponderada da RCB em função da economia reportada para cada uso final. Deste modo, os valores da RCB de refrigeração, que frequentemente ultrapassam o limite máximo de RCB estabelecida, quando combinados com a RCB de outros usos finais eficientizados simultaneamente, tendem a alterar a RCB geral do projeto, de modo que esta permaneça dentro dos limites de viabilidade aceitáveis.

Foram analisadas as opções de M&V adotadas em projetos de baixa renda, sendo apresentada na Figura 4.2, uma comparação percentual entre as opções de M&V selecionadas para os usos finais de iluminação e refrigeração.

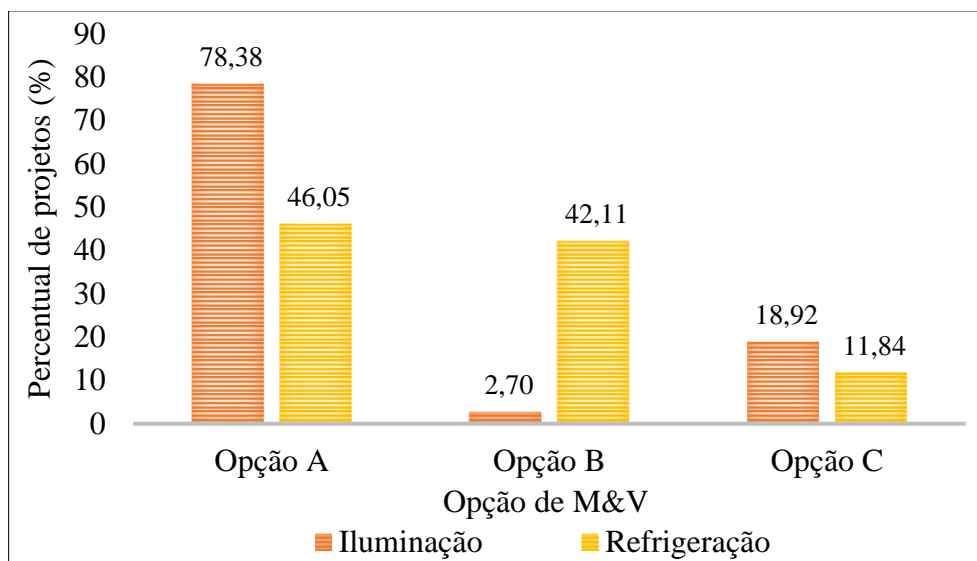


Figura 4.2 - Comparação entre as opções de M&V adotadas em projetos de baixa renda

A opção A é adotada para aferição de resultados na maior parte dos projetos envolvendo iluminação, cerca de 78,38% dos projetos da amostra analisada. Em segundo lugar, adota-se a opção C, responsável por 18,92% dos projetos de iluminação. Já para projetos que abordam a substituição de geladeiras, a opção A também consiste na opção mais utilizada, para 46,05% dos projetos que envolvem esse uso final, seguida da opção B, com 42,11%. A adoção da opção A, em sua maior parte, pode indicar que as atividades de M&V buscam reduzir os custos praticados, o que se torna frequentemente mais oneroso com a utilização da opção B, a qual requer a medição de todos os parâmetros. Para refrigeração, o percentual de utilização das

Opções A e B são semelhantes, indicando que não há uma predominância bem definida a respeito de qual opção é usualmente mais utilizada.

A Tabela 4.7 apresenta uma síntese das opções de M&V adotadas, de acordo com o uso final, e com a região em que o projeto foi implementado. Para projetos de iluminação, todas as regiões apresentam a opção A como a mais frequentemente utilizada, enquanto para projetos de refrigeração, o mesmo padrão foi observado, com exceção da região Sudeste, que apresentou o maior percentual de utilização para a opção B, e da região Centro-Oeste, que apresentou percentuais iguais para as opções A, B e C.

Tabela 4.7 - Comparação percentual das opções de M&V por região para baixa renda

Região	Iluminação				Refrigeração			
	Opção A (%)	Opção B (%)	Opção C (%)	Projetos por região	Opção A (%)	Opção B (%)	Opção C (%)	Projetos por região
CO	66,67	0,00	33,33	12	33,33	33,33	33,33	12
N	100,00	0,00	0,00	4	66,67	33,33	0,00	6
NE	100,00	0,00	0,00	20	65,00	35,00	0,00	20
S	73,33	0,00	26,67	15	73,33	20,00	6,67	15
SE	65,22	8,70	26,09	23	39,13	43,48	17,39	23

Quanto aos parâmetros medidos e estimados em projetos de iluminação com a Opção A, a Tabela 4.8 traz a relação desses parâmetros e o percentual de projetos que os utilizaram.

Tabela 4.8 - Parâmetros medidos e estimados em iluminação com a opção A

Parâmetros medidos	Parâmetros estimados	Projetos (%)
Potência instantânea	Tempo de utilização / Demanda na ponta / FCP	74,14
Tempo de utilização	Potência da lâmpada / Demanda na ponta / FCP	13,79
Potência instantânea / Tempo de utilização	Demanda na ponta / FCP	5,17
Consumo de energia elétrica	Tempo de utilização / Demanda na ponta / FCP	3,45
Não consta	Não consta	3,45

Na maior parte dos projetos de iluminação (74,14%), optou-se por considerar o parâmetro-chave para medição como sendo a potência instantânea consumida pela lâmpada, e realizar a estimativa sobre o tempo de utilização do sistema de iluminação, o fator de coincidência na ponta (FCP) e a demanda na ponta. De forma geral, os parâmetros considerados para o cálculo das economias nos projetos de iluminação em baixa renda, foram semelhantes, apenas alternando quais os parâmetros-chave e não-chave de cada projeto. A predominância de

seleção da potência instantânea consumida como parâmetro-chave, aponta que o tempo de utilização do sistema é constante, ou seja, não haverá modificação nos hábitos de uso das lâmpadas, pelos moradores das residências, após a execução do projeto.

A estimativa de parâmetros deu-se com base em entrevistas com os moradores das residências beneficiadas com os projetos, e também, por meio da adoção de parâmetros extraídos das Pesquisas de Posse e Hábitos de Consumo de Energia (PPHs) realizadas pela Eletrobras. Ainda, as estimativas deram-se pela medição do parâmetro em apenas um dos períodos (pré ou pós-*retrofit*), a fim de obter dados confiáveis para extrapolar o padrão de utilização para o período adjacente. Com isso, foi possível obter a energia economizada e a demanda retirada do horário de ponta para as residências participantes dos projetos.

Apenas dois projetos de iluminação adotaram a Opção B, sendo que um deles realizou a medição da potência instantânea das lâmpadas, do tempo de utilização, da demanda na ponta e do FCP. O segundo projeto não apresentou informações sobre as atividades de M&V para iluminação, apenas para refrigeração.

Dos projetos com o uso final em iluminação que adotaram a Opção C, foi realizada a medição do consumo de toda a instalação. Todos os projetos contemplados com a Opção C apresentaram o percentual de economia maior que 10% para o período pós-*retrofit*. Destes projetos, 28,57% realizaram a estimativa da demanda, uma vez que os medidores eletromecânicos utilizados não realizaram a medição de demanda. O restante dos projetos, 71,43% realizou a estimativa de parâmetros, tais como, o tempo de utilização, a demanda na ponta e o FCP, para cálculos mais detalhados do consumo de energia elétrica da instalação.

A Tabela 4.9 traz os períodos de medição utilizados para determinar o padrão de consumo do sistema de iluminação, no período da linha de base e de determinação da economia.

Tabela 4.9 - Períodos de medição utilizados em projetos de iluminação com a Opção A

Período de medição (linha de base)	Período de medição (determinação da economia)	Projetos (%)
Medição instantânea	Medição instantânea	74,14
7 dias	7 dias	12,07
4 dias	4 dias	3,45
75,5 horas	44 horas	3,45
5 dias	5 dias	1,72
24 horas	24 horas	1,72
Não consta	Não consta	3,45

Como esperado, a maior parte dos projetos utilizou a medição instantânea do parâmetro-chave, conforme visto anteriormente (potência instantânea consumida). Em seguida, 12,07%

dos projetos utilizou o período de 7 dias para aferir o padrão de consumo das lâmpadas (no caso de projetos que estabeleceram como parâmetro-chave o tempo de utilização). A minoria dos projetos utilizou outros períodos para medição, os quais não são muito usuais.

Apenas dois projetos utilizaram a Opção B para iluminação, sendo que um deles adotou o período de medição de 7 dias, antes e após a AEE, enquanto o outro projeto não apresentou informações sobre a M&V de iluminação. Para projetos que utilizaram a Opção C, a Tabela 4.10 apresenta os períodos de medição utilizados, uma vez que se basearam nos medidores da concessionária, utilizando resultados do consumo de toda a instalação.

Tabela 4.10 - Períodos de medição utilizados em projetos de iluminação com a Opção C

Período de medição (linha de base)	Período de medição (determinação da economia)	Projetos (%)
3 meses	3 meses	35,71
7 dias	7 dias	28,57
6 meses	6 meses	14,29
12 meses	12 meses	14,29
11 meses	11 meses	7,14

O PIMVP recomenda que para projetos que utilizaram a Opção C, deve-se obter os registros de pelo menos um ano completo (ou anos completos, 24 meses, 36 meses), uma vez que períodos menores podem não englobar o padrão de consumo sazonal da instalação, pois não incluem todos os fatores de influência. Todavia, por serem projetos mais simples, o período de monitoramento do consumo de energia elétrica foi menor, de apenas 3 meses, para 35,71% dos projetos, enquanto somente 14,29% consideraram o período de medição completo de 12 meses, conforme solicita o PIMVP.

Considerando os parâmetros medidos e estimados para projetos de refrigeração que utilizaram a Opção A, tem-se na Tabela 4.11 que 45,71% dos projetos realizaram a medição do consumo de energia elétrica da geladeira e também, o registro de demanda na ponta. De modo geral, os parâmetros utilizados para medição e para estimação são semelhantes entre os projetos.

Tabela 4.11 - Parâmetros medidos e estimados em refrigeração com a opção A

Parâmetros medidos	Parâmetros estimados	Projetos (%)
Consumo de energia elétrica / Demanda na ponta	FCP	45,71
Consumo de energia elétrica / Demanda na ponta	Tempo de utilização / FCP	22,86
Consumo de energia elétrica	Tempo de utilização / Demanda na ponta / FCP	17,14
Consumo de energia elétrica / Demanda máxima	FCP	5,71
Consumo de energia elétrica / Temperatura média diária	Tempo de utilização / Demanda na ponta / FCP	2,86
Consumo de energia elétrica / Tempo de utilização	Demanda na ponta	2,86
Potência instantânea	Tempo de utilização / Demanda na ponta / FCP	2,86

A Tabela 4.12 apresenta os parâmetros medidos em projetos de refrigeração que adotaram a Opção B. A maior parte dos projetos, cerca de 87,50% realizaram a medição dos seguintes parâmetros, consumo de energia elétrica, demanda na ponta e tempo de utilização do equipamento, o que indica a predominância de um padrão para a realização da medição de parâmetros. Um dos projetos, que corresponde à 3,13% do total, apresentou-se utilizando a Opção B, porém, não realizou a medição do consumo *ex post*, e sim, obteve uma estimativa do consumo baseando-se em dados da ENCE do equipamento.

Tabela 4.12 - Parâmetros medidos em refrigeração com a opção B

Parâmetros medidos	Projetos (%)
Consumo de energia elétrica / Demanda na ponta / Tempo de utilização	87,50
Consumo de energia elétrica / Demanda na ponta / Temperatura média diária	9,38
Consumo de energia elétrica (<i>ex ante</i>) / Consumo de energia elétrica (<i>ex post</i>) obtido da ENCE	3,13

Do total de projetos em refrigeração, 11,84% utilizaram a Opção C para determinação das economias. Destes, 44,44% realizaram a estimativa da demanda, uma vez que os medidores eletromecânicos utilizados não realizaram a medição deste parâmetro. O restante dos projetos, 55,56% realizou a estimativa de parâmetros, tais como, o tempo de utilização, a demanda na ponta e o FCP, para cálculos mais detalhados do consumo de energia elétrica da instalação.

As Tabelas 4.13, 4.14 e 4.15, apresentam os períodos de medição utilizados para projetos que adotaram as Opções A, B e C, respectivamente. Os projetos que utilizaram as Opções A e B, tiveram como período de medição predominante, 7 dias, seguido de períodos

pouco usuais. Para refrigeração, admite-se que o período compreendendo uma semana seja suficiente para registrar o padrão de consumo dos equipamentos, pois este período é capaz de englobar os hábitos de uso de dias úteis e de finais de semana. Diferentemente de projetos de iluminação que utilizaram a Opção C, para refrigeração, 33,33% dos projetos consideraram o período de medição de 12 meses, sendo o período mínimo de monitoramento do consumo indicado pelo PIMVP para projetos aderentes à esta opção.

Tabela 4.13 - Períodos de medição utilizados em projetos de refrigeração com a Opção A

Período de medição (linha de base)	Período de medição (determinação da economia)	Projetos (%)
7 dias	7 dias	82,86
24 horas	24 horas	5,71
16 dias	13 dias	2,86
16,28 dias	12,91 dias	2,86
5 dias	5 dias	2,86
Medição instantânea	Medição instantânea	2,86

Tabela 4.14 - Períodos de medição utilizados em projetos de refrigeração com a Opção B

Período de medição (linha de base)	Período de medição (determinação da economia)	Projetos (%)
7 dias	7 dias	56,25
4 dias	4 dias	12,50
9 dias	9 dias	6,25
10 dias	16 dias	6,25
24 horas	24 horas	6,25
48 horas	48 horas	3,13
3 dias	3 dias	3,13
30 dias	30 dias	3,13
Medição instantânea	Medição instantânea	3,13

Tabela 4.15 - Períodos de medição utilizados em projetos de refrigeração com a Opção C

Período de medição (linha de base)	Período de medição (determinação da economia)	Projetos (%)
12 meses	12 meses	33,33
6 meses	6 meses	22,22
7 dias	7 dias	22,22
11 meses	11 meses	11,11
3 meses	3 meses	11,11

Para o uso final em iluminação, a fronteira de medição considerada para a realização das medições consistiu na própria lâmpada (para projetos que consideraram as Opções A e B), responsável por 80,28% dos projetos, enquanto 19,72% dos projetos utilizaram o ponto de conexão do consumidor (medidor da concessionária), como a fronteira de medição (para

projetos que adotaram a Opção C). Para o uso final em refrigeração, considerou-se como a fronteira de medição, a própria geladeira, em 88,16% dos projetos (considerando as Opções A e B), enquanto 11,84% dos projetos utilizaram como fronteira de medição, o ponto de conexão do consumidor (para projetos que adotaram a Opção C). Ambos os usos finais utilizaram fronteiras de medição condizentes com o resultado esperado, uma vez que as AEEs não são passíveis de efeitos interativos significativos para além da fronteira de medição.

A análise referente à consideração de variáveis independentes mostrou que 94,59% dos projetos de uso final em iluminação não considerou ou não mencionou a respeito de variáveis independentes, as quais podem influenciar o modelo de consumo de energia elétrica em iluminação. Entretanto, 5,41% dos projetos cita como possíveis variáveis independentes a potência elétrica dos equipamentos de iluminação, as horas de funcionamento e o período de operação. Para este uso final, nenhum projeto contemplou a elaboração de modelos de regressão linear, de modo a relacionar o consumo de energia elétrica dos equipamentos com a variação das variáveis independentes.

Para projetos com uso final em refrigeração, constatou-se que 85,53% não considerou ou não mencionou sobre a consideração de variáveis independentes. Contudo, 14,47% dos projetos citou como possíveis variáveis independentes, a temperatura média diária, a diferença entre a temperatura externa e interna, a potência dos equipamentos, hábitos de uso e tempo de funcionamento. Apenas 3,95% dos projetos apresentaram modelo de regressão linear relacionando o consumo de energia elétrica com a variável independente, neste caso, sendo considerada como a diferença entre a temperatura ambiente externa e interna do refrigerador. Em alguns projetos, consta que não foi possível elaborar um modelo para o consumo de energia elétrica baseado em variáveis independentes como a temperatura (média diária ou diferença entre externa e interna), pois as variações no consumo ocasionadas pelos hábitos de uso do equipamento, são mais significativas do que os efeitos da variável independente.

Dentre os projetos analisados para o uso final em iluminação, não foi constatada a consideração de fatores estáticos e efeitos interativos no cálculo das economias. Alguns projetos mencionaram que os parâmetros como, número de pessoas da residência, número de cômodos e renda familiar (salários-mínimos) seriam monitorados e anotados, para futuro estudo de fatores estáticos de longo prazo, porém, sem maiores detalhes da forma que este estudo será conduzido. De modo semelhante, também não foram incluídos fatores estáticos e efeitos interativos no cálculo das economias, para refrigeração, apenas mencionado que um possível efeito interativo seria o menor calor desprendido pelo motor do refrigerador, e ainda, a menor perda joule nos circuitos a montante, porém, estes efeitos foram ignorados. Em ambos os usos

finais considerados nos projetos de baixa renda, não foram realizados nenhum tipo de ajuste à linha de base.

A não consideração de tais parâmetros nos cálculos do modelo de consumo de energia elétrica dos equipamentos, demonstra como as atividades de M&V são simplificadas, sendo desconsiderados alguns parâmetros relativamente importantes para o cálculo das economias. Um exemplo, são as variáveis independentes, e possíveis modelos de regressão, capazes de correlacionar a variação do consumo de energia elétrica com a mudança da variável independente, que ocasionalmente são considerados ou mencionados. A simples menção dos fatores que podem variar e por consequência, modificar o padrão de consumo dos equipamentos, não é suficiente para garantir a durabilidade das economias atribuídas às AEEs ao longo da vida útil dos equipamentos implementados.

A Tabela 4.16 apresenta informações sobre a definição do tamanho da amostra para realizar a M&V em equipamentos de iluminação e refrigeração. A grande maioria dos projetos, baseou-se na definição da NBR 5426, com regime de inspeção severa, nível I. Como os projetos de baixa renda possuem a característica de atender à muitas unidades consumidoras, inicialmente, o Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética (ANEEL, 2008a) definiu que a amostragem seria baseada na NBR 5426, com regime de inspeção severa, nível I, a qual fornece uma tabela própria para definição do número de unidades consumidoras que fariam parte da amostra. A partir de 2013, com o lançamento do PROPEE, o processo de definição do tamanho da amostra passou a ser baseado no PIMVP, com nível de confiança de 95% e precisão de $\pm 10\%$.

Tabela 4.16 - Considerações para definição de amostragem dos projetos de baixa renda

Amostragem	Projetos em iluminação (%)	Projetos em refrigeração (%)
NBR 5426, regime de inspeção severa, nível I	71,62	72,37
Nível de confiança 95% e $\pm 10\%$ de precisão	9,46	9,21
Nível de confiança 90% e $\pm 10\%$ de precisão	1,35	1,32
Não explica a definição do tamanho da amostra	13,51	17,11
Não consta	4,05	0,00

De modo geral, os projetos de baixa renda analisados foram responsáveis por introduzir uma quantidade de lâmpadas (LED e LFC) e refrigeradores mais eficientes (Tabelas 4.17 e 4.18), auxiliando a comunidade de baixo poder aquisitivo a diminuir o seu consumo de energia elétrica mensal, podendo direcionar a sua renda para outras finalidades.

Tabela 4.17 - Quantitativo de lâmpadas implementadas em projetos de baixa renda

Tecnologia	Potência elétrica (W)	Quantidade	Total
LED bulbo	7,5	214	74.850
	9	552	
	9,5	62.482	
	10	10.702	
	12	900	
LFC	9	4.510	4.117.324
	15	3.081.489	
	18	150.000	
	20	665.001	
	23	180.824	
	25	35.500	

Tabela 4.18 - Quantitativo de geladeiras implementadas em projetos de baixa renda

Faixa de consumo (kWh/mês)	Quantidade de geladeiras
15,0 - 20,0	27.220
20,0 - 25,0	123.465
25,0 - 30,0	32.867
30,0 - 35,0	37.269
35,0 - 40,0	21.379
Total	242.200

4.2.2 Resultados da tipologia Poder Público

A Tabela 4.19 apresenta resultados previstos e realizados dos projetos do poder público, de acordo com os usos finais envolvidos.

Tabela 4.19 - Resultados previstos e realizados no poder público de acordo com o uso final

Uso final	EE prevista (GWh/ano)	EE realizada (GWh/ano)	RDP prevista (MW)	RDP realizada (MW)	RCB prevista	RCB realizada
Iluminação	41,45	38,54	9,69	7,76	0,71	0,63
Condicionamento de Ar	16,10	18,45	3,79	3,74	0,81	0,68
Total	57,55	56,99	13,48	11,50	0,69	0,60

A maior parcela de energia economizada e demanda retirada da ponta, também é atribuída ao sistema de iluminação, semelhante aos projetos de baixa renda. A RCB deste uso final é maior do que a RCB de condicionamento de ar, entretanto, ambas estão abaixo do limite máximo aceitável, e a RCB geral do projeto mantém-se em 0,60. Os valores realizados para a RCB demonstraram que os projetos executados foram mais atrativos do que os projetos previstos, dada a diminuição apresentada entre RCBs previstas e realizadas de ambos os usos finais. Os valores previstos para a energia economizada e redução de demanda na ponta, em

iluminação, foram maiores do que os valores realizados. Isso deve-se principalmente às estimativas de parâmetros de forma não conservadora, superestimando, por exemplo, o tempo de utilização e a potência consumida pelos equipamentos. Por outro lado, também se deve à previsão de um quantitativo de equipamentos a serem substituídos, e na prática, ocorrer uma menor substituição, devido à problemas encontrados nas instalações, como por exemplo, equipamentos queimados, entre outros. Já para condicionamento de ar, a energia economizada realizada superou a prevista, enquanto a redução de demanda na ponta ficou praticamente a mesma. Também foi verificado que o investimento total previsto para a amostra de projetos analisada, foi de R\$ 68,73 milhões, enquanto o investimento efetivamente realizado foi de R\$ 61,73, uma diferença de -10,18% dos custos previstos.

A Tabela 4.20 traz informações por região, sobre investimentos totais, custos de M&V e percentual médio de custos de M&V por projeto, para o poder público.

Tabela 4.20 - Investimento e custos de M&V para a tipologia poder público por região

Região	Investimento (10 ⁶ R\$)	Custos de M&V (10 ³ R\$)	Percentual médio dos custos de M&V por projeto (%)
CO	3,15	14,98	0,96
N	0,59	-	-
NE	11,56	365,11	7,24
S	5,82	116,11	6,40
SE	40,61	952,35	4,69
Total	61,73	1.448,55	5,24

Nota: Considerando 100% dos projetos do CO, 0% do N, 70% do NE, 75% do S e 88,5% do SE que discriminaram os custos de M&V separadamente de outros serviços.

Conforme apresentado pela Tabela 4.20, a região Nordeste correspondeu à região com o maior custo médio para as atividades de M&V por projeto, sendo equivalente à 7,24% do investimento. Por outro lado, a região Centro-Oeste apresentou o menor valor de custo médio para a M&V, de apenas 0,96%. A região Norte não foi considerada, pois o único projeto representante desta região não discriminou os custos praticados nas atividades de M&V. O baixo valor de custo médio de M&V por projeto para a região Centro-Oeste, é atribuído ao fato de que a predominância da Opção de M&V utilizada nesta região, foi a Opção C. Logo, foram utilizados os próprios medidores da concessionária para registro do consumo mensal de energia elétrica, sendo utilizadas as faturas antigas para o estabelecimento da linha de base do consumo. Dessa forma, os custos com M&V ficam menos onerosos, uma vez que medições diretas em equipamentos não foram realizadas.

Por outro lado, as outras regiões apresentaram custos médios com M&V por projeto maiores do que os projetos de baixa renda, motivado pelo fato de que o padrão de consumo dos equipamentos envolvidos nas AEEs do poder público é mais complexo de se definir. Apenas comparando os percentuais médios totais entre as duas tipologias de projeto, percebe-se que no poder público, os custos médios com M&V por projeto (5,24%) equivalem ao dobro dos custos médios por projeto em baixa renda (2,50%).

A Figura 4.3 apresenta uma comparação regional entre a RCB prevista e realizada para os usos finais em iluminação e condicionamento de ar.

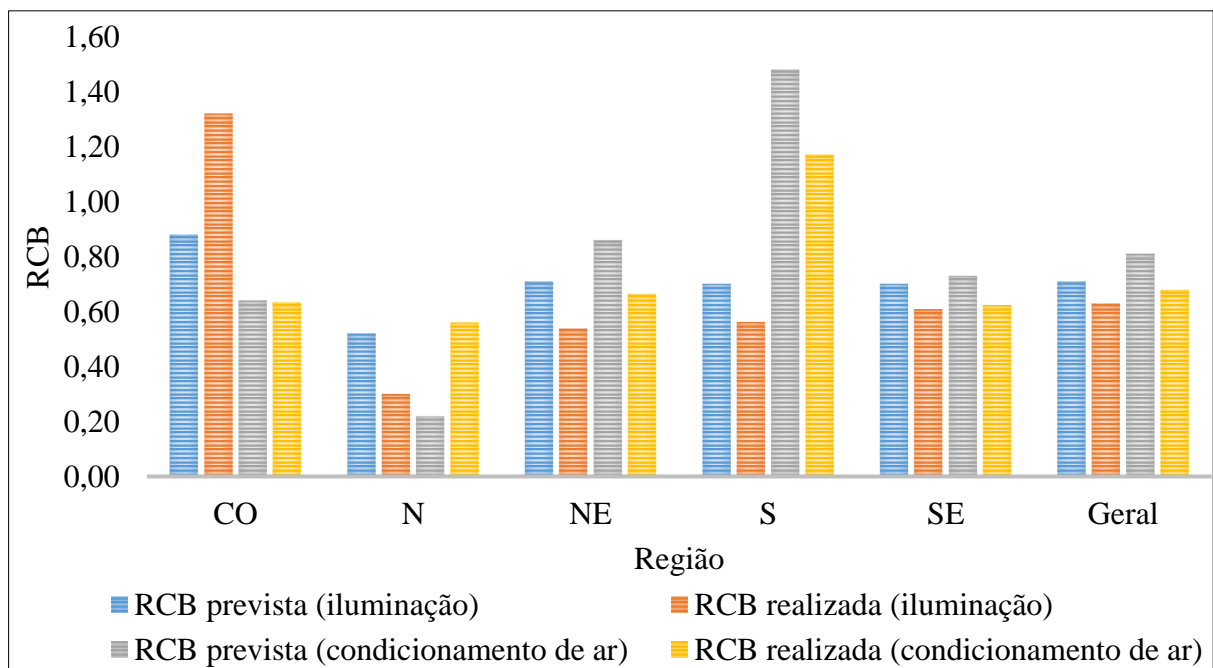


Figura 4.3 - Comparação regional entre RCB prevista e realizada no poder público

Para iluminação, a região Centro-Oeste apresentou uma RCB realizada maior do que a RCB prevista, ou seja, um indicativo de que os custos previstos foram maiores na etapa de execução dos projetos ou o benefício obtido, menor do que o benefício previsto (conforme observado na Tabela 4.19). Isso indica que a RCB realizada, foi de certa forma, menos viável do que a prevista, para essa região. Já para condicionamento de ar, a região Norte apresentou a RCB realizada maior do que a prevista, indicando que a execução dos projetos apresentou indicadores de viabilidade menos atrativos, do que na etapa de diagnóstico energético. Em síntese, as médias gerais para RCB apresentaram melhor desempenho na etapa de execução, sendo prevista para iluminação a RCB de 0,71 e realizado o valor de 0,63, enquanto para condicionamento de ar, foi prevista uma RCB de 0,81 e a RCB realizada foi de 0,68.

Foram analisadas as opções de M&V adotadas em projetos do poder público, sendo apresentada na Figura 4.4, uma comparação entre as opções de M&V selecionadas para os usos finais de iluminação e condicionamento de ar.

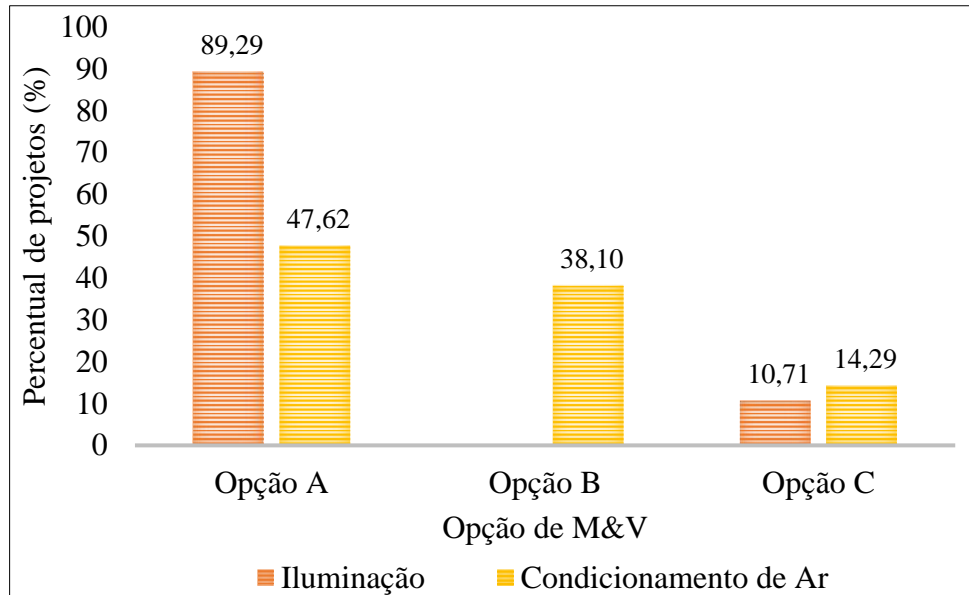


Figura 4.4 - Comparação entre as opções de M&V adotadas em projetos do poder público

A opção A é adotada para aferição de resultados na maior parte dos projetos envolvendo iluminação, cerca de 89,29% dos projetos da amostra analisada. Em segundo lugar, adota-se a opção C, responsável por 10,71% dos projetos de iluminação. Já para projetos que abordam a substituição de condicionadores de ar, a opção A também consiste na opção mais utilizada, para 47,62% dos projetos que envolvem esse uso final, seguida da opção B, com 38,10%. A adoção da opção A para iluminação é justificada por ser uma AEE de aferição simples, passível da medição de um parâmetro-chave e da estimativa de demais parâmetros, sendo também, menos dispendiosa do que a Opção B, por exemplo.

Para condicionamento de ar, há a predominância da utilização da Opção A (47,62%), seguida da Opção B (38,10%). Embora seja um uso final de consumo variável (sazonal) ao longo do ano, sendo melhor caracterizado pela utilização da Opção B, tendo seu consumo regido por variáveis independentes, como a temperatura externa, ocupação do ambiente, entre outros, observou-se a predominância da Opção A. Tal observação leva em conta que os projetos buscam reduzir os custos com atividades de M&V, mas também pode indicar a inexperiência e falta de conhecimentos técnicos dos profissionais que executaram o Plano de M&V, pois embora seja uma opção menos onerosa, para cargas como condicionadores de ar, a Opção B é a mais adequada, a qual tem capacidade de reportar padrões de consumo e economia mais

precisos. Portanto, a observação da predominância da adoção da Opção A para aferição das economias do uso final em condicionamento de ar, indica que projetos que envolvam este uso final, em específico, devem prestar mais atenção nas recomendações de boas práticas de M&V do PIMVP e do PROPEE, uma vez que, da forma como está sendo conduzida a M&V para estes equipamentos, pode acarretar na falta de confiabilidade dos resultados de economias reportadas.

A Tabela 4.21 apresenta uma síntese das opções de M&V adotadas, de acordo com o uso final, e com a região em que o projeto foi implementado. Para projetos de iluminação, todas as regiões apresentam a opção A como a mais frequentemente utilizada, com exceção da região Centro-Oeste, enquanto para projetos de condicionamento de ar, o mesmo padrão foi observado, incluindo a adoção da opção C na região Centro-Oeste.

Tabela 4.21 - Comparação percentual das opções de M&V por região para poder público

Região	Iluminação			Projetos por região	Condicionamento de ar			Projetos por região
	Opção A (%)	Opção B (%)	Opção C (%)		Opção A (%)	Opção B (%)	Opção C (%)	
CO	0,00	0,00	100,00	5	0,00	16,67	83,33	6
N	100,00	0,00	0,00	1	100,00	0,00	0,00	1
NE	94,74	0,00	5,26	19	70,59	23,53	5,88	17
S	100,00	0,00	0,00	12	100,00	0,00	0,00	3
SE	100,00	0,00	0,00	19	26,67	73,33	0,00	15

Quanto aos parâmetros medidos e estimados em projetos de iluminação para prédios do poder público que utilizaram a Opção A, a Tabela 4.22 traz a relação desses parâmetros e o percentual de projetos que os utilizaram.

Tabela 4.22 - Parâmetros medidos e estimados em iluminação com a opção A

Parâmetros medidos	Parâmetros estimados	Projetos (%)
Potência instantânea	Tempo de utilização / FCP	82,00
Potência instantânea / Iluminância média	Tempo de utilização / FCP	14,00
Tempo de utilização / Iluminância média	Potência da lâmpada	4,00

Na maior parte dos projetos de iluminação (82,00%), optou-se por considerar o parâmetro-chave para medição como sendo a potência instantânea consumida pela lâmpada, e realizar a estimativa sobre o tempo de utilização e o FCP do sistema de iluminação. Alguns projetos, realizaram a medição da iluminância média dos ambientes, de modo a atender a iluminância média mínima, de acordo com a atividade desenvolvida, a necessidades de uso, idade dos usuários etc. Assim, além de proporcionar benefícios energéticos com a diminuição

do consumo de energia elétrica, a AEE propiciou maior conforto visual aos ocupantes do ambiente, de modo a adequar a iluminância média à ABNT NBR ISO/CIE 8995:2013.

De forma geral, os parâmetros considerados para o cálculo das economias nos projetos de iluminação no poder público, foram semelhantes, apenas alternando quais os parâmetros-chave e não-chave de cada projeto. A predominância de seleção da potência instantânea consumida como parâmetro-chave, aponta que o tempo de utilização do sistema é constante, ou seja, não haverá modificação no padrão de uso do sistema de iluminação, após a execução do projeto. A estimativa de parâmetros deu-se com base em entrevistas com os responsáveis pelos prédios públicos, além de medições pontuais para verificar a concordância de valores dos parâmetros estimados.

Dos projetos com o uso final em iluminação do poder público, 10,71% adotou a Opção C para aferição das economias, onde foi realizada a medição do consumo mensal de toda a instalação, a partir dos medidores da concessionária. Todos os projetos contemplados com a Opção C apresentaram o percentual de economia maior que 10% para o período pós-*retrofit*. Para iluminação no poder público, não constaram projetos para a Opção B do PIMVP.

A Tabela 4.23 mostra os períodos de medição utilizados para determinar o padrão de consumo dos equipamentos de iluminação, no período da linha de base e de determinação da economia.

Tabela 4.23 - Períodos de medição utilizados em projetos de iluminação com a Opção A

Período de medição (linha de base)	Período de medição (determinação da economia)	Projetos (%)
Medição instantânea	Medição instantânea	94,00
Superior a 24 horas	Superior a 24 horas	4,00
14 dias	14 dias	2,00

Como esperado, a maior parte dos projetos (94,00%) utilizou a medição instantânea do parâmetro-chave, conforme visto anteriormente (potência instantânea consumida). Em seguida, a minoria dos projetos utilizou outros períodos para medição, os quais não são muito usuais, sendo superior a 24 horas e também, de 14 dias. Para projetos que utilizaram a Opção C, a Tabela 4.24 apresenta os períodos de medição utilizados, uma vez que se basearam nos medidores da concessionária, utilizando resultados do consumo de toda a instalação.

Tabela 4.24 - Períodos de medição utilizados em projetos de iluminação com a Opção C

Período de medição (linha de base)	Período de medição (determinação da economia)	Projetos (%)
3 meses	3 meses	50,00
1 mês	1 mês	16,67
4 meses	4 meses	16,67
12 meses	12 meses	16,67

O PIMVP recomenda que para projetos que utilizaram a Opção C, deve-se obter os registros de pelo menos um ano completo (ou anos completos, 24 meses, 36 meses), uma vez que períodos menores podem não englobar o padrão de consumo sazonal da instalação, pois não incluem todos os fatores de influência. Todavia, o período de monitoramento do consumo de energia elétrica foi de apenas 3 meses, para a maior parcela dos projetos (50,00%), enquanto somente 16,67% consideraram o período de medição completo de 12 meses, conforme recomenda o PIMVP.

Considerando os parâmetros medidos e estimados para projetos de condicionamento de ar que utilizaram a Opção A, tem-se na Tabela 4.25, que 45,00% dos projetos realizaram a medição da potência elétrica, com a estimativa do tempo de utilização e do FCP. Porém, essa maior parte dos projetos, na Opção A, não realizou o monitoramento da temperatura ambiente, de modo a verificar a aderência de um modelo de regressão entre o consumo de energia elétrica e a temperatura ambiente. De modo geral, os parâmetros utilizados para medição e para estimativas são semelhantes entre os projetos.

Tabela 4.25 - Parâmetros medidos e estimados em condicionamento de ar com a opção A

Parâmetros medidos	Parâmetros estimados	Projetos (%)
Potência elétrica	Tempo de utilização / FCP	45,00
Potência elétrica / Temperatura ambiente	Tempo de utilização / FCP	30,00
Consumo de energia elétrica	Tempo de utilização	15,00
Consumo de energia elétrica / Demanda na ponta	Tempo de utilização / FCP	5,00
Potência elétrica / Temperatura de insuflamento	Tempo de utilização / FCP / Fator de Utilização	5,00

A Tabela 4.26 apresenta os parâmetros medidos em projetos de condicionamento de ar que adotaram a Opção B. A maior parte dos projetos, cerca de 43,75%, realizaram a medição dos parâmetros, potência elétrica, demanda na ponta e temperatura ambiente. A medição de parâmetros como, vazão de água gelada e temperatura dos circuitos de água gelada, foi realizada para centrais de água gelada utilizadas no condicionamento ambiental.

Tabela 4.26 - Parâmetros medidos em condicionamento de ar com a opção B

Parâmetros medidos	Projetos (%)
Potência elétrica / Demanda / Temperatura ambiente	43,75
Potência elétrica / Vazão água gelada / Temperaturas dos circuitos / Tempo de utilização	25,00
Potência elétrica / Temperatura ambiente / Tempo de utilização / Umidade Relativa / Fluxo de Ar	12,50
Potência elétrica / Demanda	12,50
Potência elétrica / Demanda / Tempo de utilização	6,25

Dos projetos em condicionamento de ar que utilizaram a Opção C para determinação das economias, apenas 16,67% realizaram o registro da temperatura média mensal, de modo a obter uma correlação com o consumo de energia, enquanto o restante dos projetos com a Opção C, 83,33%, realizaram apenas o registro do consumo de energia elétrica médio mensal.

As Tabelas 4.27, 4.28 e 4.29, apresentam os períodos de medição para condicionadores de ar, para as Opções A, B e C, respectivamente. Os projetos que utilizaram as Opções A e B, tiveram como período de medição predominante, 7 dias, seguido de períodos pouco usuais. Para condicionamento de ar, admite-se que o período compreendendo uma semana seja suficiente para registrar o padrão de consumo dos equipamentos, de acordo com os diferentes horários e temperaturas médias diárias.

Tabela 4.27 - Períodos de medição utilizados em condicionamento de ar com a Opção A

Período de medição (linha de base)	Período de medição (determinação da economia)	Projetos (%)
7 dias	7 dias	35,00
instantâneo	instantâneo	20,00
5 dias	5 dias	15,00
24 horas	24 horas	10,00
3 horas	3 horas	5,00
2 dias	2 dias	5,00
14 dias	14 dias	5,00
não explica	não explica	5,00

Tabela 4.28 - Períodos de medição utilizados em condicionamento de ar com a Opção B

Período de medição (linha de base)	Período de medição (determinação da economia)	Projetos (%)
7 dias	7 dias	62,5
Superior a 24 horas	Superior a 24 horas	12,5
3 dias	3 dias	6,25
15 dias	15 dias	6,25
17 dias	17 dias	6,25
30 dias	30 dias	6,25

Para a Opção C, o período de medição predominante foi de 3 meses, sendo que o período mínimo indicado pelo PIMVP para projetos aderentes à esta opção, é de pelo menos 12 meses.

Tabela 4.29 - Períodos de medição utilizados em condicionamento de ar com a Opção C

Período de medição (linha de base)	Período de medição (determinação da economia)	Projetos (%)
3 meses	3 meses	50,00
1 mês	1 mês	16,67
4 meses	4 meses	16,67
12 meses	12 meses	16,67

Para o uso final em iluminação no poder público, a fronteira de medição considerada para a realização das medições consistiu na luminária, envolvendo o conjunto lâmpada e reator (para projetos que consideraram a Opção A), responsável por 89,29% dos projetos, enquanto 10,71% dos projetos utilizaram o ponto de conexão do consumidor (medidor da concessionária para toda a instalação), como a fronteira de medição (para projetos que adotaram a Opção C).

Para o uso final em condicionamento de ar, considerou-se como a fronteira de medição, o próprio circuito de alimentação elétrica dos equipamentos, em 85,71% dos projetos (considerando as Opções A e B), enquanto 14,29% dos projetos utilizaram como fronteira de medição, o ponto de conexão do consumidor, para toda a instalação (projetos que adotaram a Opção C). Ambos os usos finais utilizaram fronteiras de medição condizentes com o resultado esperado, uma vez que as AEEs não são passíveis de efeitos interativos significativos fora da fronteira de medição.

A análise referente à consideração de variáveis independentes mostrou que 80,36% dos projetos de uso final em iluminação não considerou ou não mencionou a respeito de variáveis independentes, as quais podem influenciar o modelo de consumo de energia elétrica em iluminação. Entretanto, 19,64% dos projetos cita como possíveis variáveis independentes a potência elétrica dos equipamentos de iluminação, as horas de funcionamento, os períodos de operação e o perfil de ocupação dos ambientes. Para este uso final, foi constatado que apenas 1,79% dos projetos elaborou modelo de regressão linear, de modo a relacionar a variação do consumo de energia elétrica dos equipamentos com as variáveis independentes. Neste caso, as variáveis independentes consideradas no modelo, consistiram no número de atendimento mensal de pessoas e na temperatura média mensal (o projeto em questão, foi realizado em uma delegacia de polícia), obtendo uma boa correlação.

Para projetos com uso final em condicionamento de ar, constatou-se que 66,67% não considerou ou não mencionou sobre as possíveis variáveis independentes envolvidas no

processo. Contudo, 33,33% dos projetos citou como possíveis variáveis independentes, a temperatura média diária, a umidade, os graus-dia de refrigeração (GDR), a carga térmica ou capacidade de refrigeração dos equipamentos. Sendo condicionamento de ar um uso final de consumo altamente variável em razão da temperatura ambiente e sazonalidade, a não consideração da variável independente (temperatura), passível de correlação com a variação do consumo de energia elétrica, traz incertezas ao padrão de consumo destes equipamentos, o que por consequência, acarreta resultados de economia com pouca confiabilidade.

Apenas 4,35% dos projetos apresentaram modelo de regressão linear relacionando o consumo de energia elétrica com a variável independente, neste caso, sendo considerada como a temperatura ambiente, em um dos projetos, e o número de atendimento mensal de pessoas e a temperatura média mensal, em outro projeto. Em alguns projetos, consta que não foi possível elaborar um modelo para o consumo de energia elétrica baseado em variáveis independentes como a temperatura média diária ou diferença entre externa e interna), pois a correlação entre ambos os parâmetros não contribuiu significativamente para a diminuição das incertezas, ou seja, os critérios para utilização da regressão não foram atendidos.

Dentre os projetos analisados do poder público, para o uso final em iluminação, não foi constatada a consideração de fatores estáticos e efeitos interativos no cálculo das economias. Alguns projetos (19,64%) mencionaram possíveis parâmetros a serem considerados como fatores estáticos, sendo a modificação do tempo de utilização do sistema de iluminação, os turnos de operação, a taxa de ocupação e o número de lâmpadas e reatores queimados, que não estão em funcionamento. Outros mencionaram ainda, que a substituição do sistema de iluminação provocaria uma diminuição da carga térmica no ambiente, o que afetaria o sistema de condicionamento de ar, porém, este efeito é muito pequeno e a sua quantificação onerosa, sendo então, desconsiderado.

De modo semelhante, também não foram incluídos fatores estáticos e efeitos interativos no cálculo das economias, para condicionamento de ar, apenas mencionado em alguns projetos (19,05%), que possíveis fatores estáticos seriam a modificação do layout e área dos ambientes, do tempo de utilização do sistema, dos turnos de operação e da taxa de ocupação do ambiente.

Para 8,93% dos projetos de iluminação, considerou-se ajustes à linha de base, provocados por modificações no consumo, devido as lâmpadas queimadas no período de referência, por mudanças no período e regime de funcionamento dos ambientes e do fluxo luminoso, por alterações no quantitativo e no tipo de substituições previstas, decorrentes de reformas e/ou mudanças de layout de alguns ambientes. Os ajustes foram necessários para

equalizar os períodos e determinar de forma mais precisa, a real economia de energia envolvida com a AEE.

Dos projetos de condicionamento de ar, 23,81% dos projetos realizou ajustes à linha de base, sendo motivados principalmente, pelos ajustes feitos ao consumo base, por meio das temperaturas médias mensais, sendo corrigida a influência da carga térmica, conforme as diferentes condições climáticas mensais. Entretanto, a maior parte dos projetos de condicionamento de ar, 76,19%, não realizou estes ajustes, considerando valores médios de consumo iguais durante os distintos meses e estações do ano, o que impõe incertezas ao padrão de consumo dos equipamentos, e por consequência, na economia obtida.

A Tabela 4.30 apresenta informações sobre a definição do tamanho da amostra para realizar a M&V em equipamentos de iluminação e condicionamento de ar. A grande maioria dos projetos, baseou-se na definição da NBR 5426, com regime de inspeção severa, nível I. Inicialmente, o Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética (ANEEL, 2008a) definiu que a amostragem seria baseada na NBR 5426, com regime de inspeção severa, nível I, a qual fornece uma tabela própria para definição do tamanho da amostra de equipamentos, de acordo com a faixa em que o tamanho da população se encontra. A partir de 2013, com o lançamento do PROPEE, o processo de definição do tamanho da amostra passou a ser baseado no PIMVP, com nível de confiança de 95% e precisão de $\pm 10\%$.

Tabela 4.30 - Considerações para definição de amostragem dos projetos do poder público

Amostragem	Projetos em iluminação (%)	Projetos em condicionamento de ar (%)
NBR 5426, regime de inspeção severa nível I	62,50	54,76
Nível de confiança 95% e $\pm 10\%$ de precisão	14,29	4,76
Toda a instalação	10,71	19,05
Não explica a definição do tamanho da amostra	12,50	21,43

Por fim, foi realizado o levantamento da quantidade de lâmpadas (Tabela 4.31) e condicionadores de ar (Tabela 4.32) eficientes implementados nos projetos analisados.

Tabela 4.31 – Quantitativo de lâmpadas implementadas em projetos do poder público

Tecnologia	Potência elétrica (W)	Quantidade	Total
LED	9	6.349	33.490
	10	604	
	18	26.032	
	19	505	
LFT	14	642	351.705
	16	19.848	
	28	9.700	
	32	321.201	
	36	120	
	54	194	
LFC	12	39	18.301
	14	7	
	15	3.725	
	16	119	
	18	107	
	19	69	
	20	1.177	
	21	311	
	23	7.138	
	25	4.485	
	30	20	
	32	539	
	36	133	
	45	96	
46	96		
60	4		
85	236		

Tabela 4.32 – Quantitativo de condicionadores de ar implementados no poder público

Capacidade de refrigeração (BTU)	Tipo Janela	Tipo Split
7.500	321	35
9.000	23	176
10.000	215	10
10.500	52	-
12.000	198	82
12.500	3	-
17.500	42	-
18.000	229	164
19.000	54	-
21.000	111	6
21.500	3	-
22.000	2	14
24.000	-	25
27.000	-	14
30.000	126	12
30.500	4	-
32.000	-	30

48.000	-	52
60.000	-	2
Total	1.383	622

Além dos condicionadores de ar, também foram implementados 17 *chillers*, variando de 65 a 300 TR (tonelada de refrigeração).

4.2.3 Resultados da tipologia Serviços Públicos

A Tabela 4.33 apresenta resultados gerais dos projetos de serviços públicos (saneamento), de acordo com o uso final abordado, de força motriz.

Tabela 4.33 - Resultados de projetos de serviços públicos de acordo com o uso final

Uso final	EE prevista (GWh/ano)	EE realizada (GWh/ano)	RDP prevista (MW)	RDP realizada (MW)	RCB prevista	RCB realizada
Força motriz	72,90	86,81	15,52	18,76	0,53	0,43

De acordo com a avaliação dos resultados gerais dos projetos, foi constatado que estes apresentaram resultados satisfatórios, considerando que os resultados efetivamente realizados superaram os resultados previstos, conforme apresentado na Tabela 4.33. Foi previsto um investimento da ordem de R\$ 70,60 milhões, sendo efetivamente despendido o montante de R\$ 69,85 milhões, com uma variação de -1,06% entre o investimento previsto e o realizado.

Dentre as causas para o investimento realizado ter sido menor do que o previsto, estão os valores previstos na etapa de diagnóstico energético maiores do que os valores efetivamente negociados nas licitações para contratação de serviços e aquisição de equipamentos. Foi observada uma grande diminuição do valor previsto para o realizado, principalmente para as rubricas “materiais e equipamentos”, “mão-de-obra” e “medição e verificação”.

A considerável divergência entre a RCB prevista e realizada, deu-se principalmente pelas diferenças entre os custos e benefícios já mencionados anteriormente, visto que os custos (investimentos) e os benefícios (energia economizada e redução de demanda em horário de ponta) realizados, tiveram melhores resultados do que os custos e benefícios previstos. Destaca-se que a RCB é o principal critério para avaliação da viabilidade econômica de um projeto do PEE, e a indicação de uma variação de -18,87% entre o indicador previsto e realizado, informa que os projetos executados obtiveram melhor desempenho do que os projetos previstos na etapa de diagnóstico energético (baseado em suposições e medições pontuais de alguns parâmetros).

Salienta-se a importância das atividades de M&V para confirmação da real economia obtida pela AEE, uma vez que as estimativas necessitam de confirmação por meio de medições.

Em alguns casos, a ausência de registros de dados sobre o tempo de funcionamento dos sistemas (aliado à estimativas incorretas), a impossibilidade de realizar medições em pontos específicos dos equipamentos, a incoerência entre dados fornecidos pelos operadores de saneamento diante dos dados medidos e a falta de uma cultura de medição e monitoramento de parâmetros, contribuíram para a discrepância observada entre custos e benefícios previstos e realizados, consequentemente, provocando expressiva diferença entre a RCB prevista e a RCB realizada. Além disso, a diferença entre valores previstos e realizados também se dá por erros associados aos processos de medição, amostragem e modelagem (modelo matemático que explica a variação da energia elétrica em função de outros parâmetros). A qualidade das medições também pode influenciar os resultados obtidos.

Recomenda-se que as suposições e estimativas adotadas na fase do diagnóstico energético sejam feitas de forma conservadora, de modo que os valores de energia economizada e demanda retirada da ponta possam ser atingidos com a implantação do projeto. Desde que a RCB se mantenha na faixa de valor máximo aceitável para a tipologia de projeto em questão (igual ou inferior a 0,80), são aceitáveis diferenças entre as estimativas *ex ante* e *ex post*.

A Tabela 4.34 apresenta os investimentos totais, o custo com atividades de M&V, bem como, o percentual médio de custos de M&V por projeto, conforme a região geográfica.

Tabela 4.34 - Investimento e custos de M&V para a tipologia serviços públicos por região

Região	Investimento total (10 ⁶ R\$)	Custos de M&V (10 ³ R\$)	Percentual médio dos custos de M&V por projeto (%)
NE	3,46	153,81	9,13
S	4,43	355,61	7,80
SE	61,96	2.805,54	5,71
Total	69,85	3.314,96	6,33

Nota: Dos quatro projetos realizados na região Nordeste, apenas três declararam os custos gastos com M&V, e o projeto remanescente considerou os custos de atividades de M&V incluídos na rubrica mão de obra de terceiros.

A região Nordeste é responsável pelo maior percentual médio de custos de M&V por projeto, sendo de 9,13%, o que ainda está abaixo do limite máximo permitido, que consiste em limitar os custos de M&V a 10% do custo total de um projeto de eficiência energética. Em geral, todas as regiões apresentaram percentuais de custos de M&V altos, quando comparado às outras tipologias de projetos. A região Sudeste apresentou o menor valor de custo médio para a M&V, de 5,71%, porém este valor, ainda é superior ao maior valor regional praticado para atividades de M&V em projetos de baixa renda (5,04%). Isso demonstra que quanto maior a

complexidade para definir o padrão de consumo de energia elétrica dos usos finais envolvidos, maiores são os custos no processo de medição e verificação das economias.

Conforme a complexidade do projeto, a tendência é de que os custos sejam superiores, em relação a projetos mais simples, como a substituição de um sistema de iluminação, por exemplo. A quantidade de parâmetros a serem medidos, de modo a caracterizar um ciclo completo de funcionamento, frequentemente é maior, bem como, a complexidade para determinar o padrão de consumo dos equipamentos e a economia obtida por uma AEE efetuada nesses equipamentos.

A Figura 4.5 apresenta uma comparação regional entre a RCB prevista e realizada para os projetos de saneamento.

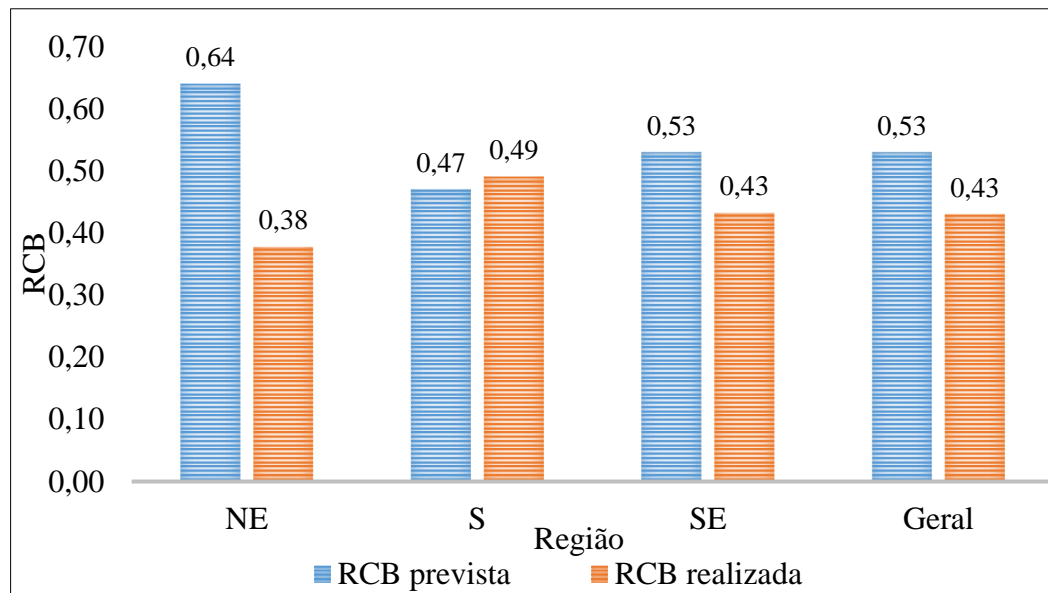


Figura 4.5 - Comparação regional entre RCB prevista e realizada em saneamento

A RCB média global prevista para os projetos consistiu em 0,53, enquanto a RCB média global realizada foi de 0,43, o que aponta um bom indicador de viabilidade econômica, visto que o valor é inferior ao limite de 0,80. Embora a região Sul contenha apenas 12,9% dos projetos analisados, o valor médio da RCB realizada é maior do que a RCB prevista, enquanto para as outras regiões, é observado o padrão contrário. Este fato é uma consequência gerada pela diminuição do benefício realizado de demanda retirada da ponta, sendo que o valor previsto foi constatado ser superior do que o realizado. Assim, as regiões Nordeste e Sudeste obtiveram valores de RCB mais atrativos do que a região Sul, após a implementação dos projetos.

Foram analisadas as opções de M&V adotadas em projetos saneamento, sendo apresentada na Figura 4.6, uma comparação entre as opções de M&V selecionadas para o uso

final em força motriz. Dentre as metodologias adotadas para a realização da etapa de M&V, conforme a Figura 4.6, foi observada a predominância da adoção da opção B (67,74%), a qual prevê a medição de todos os parâmetros, seguida da adoção da opção A (29,03%), medição de parâmetros-chave, e opção C (3,23%), medição de toda a instalação.

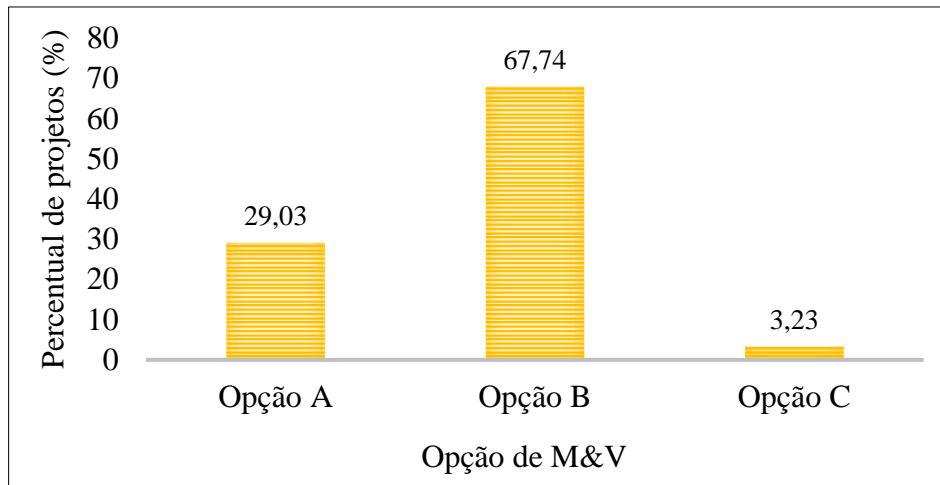


Figura 4.6 - Comparação entre as opções de M&V adotadas em projetos de saneamento

Em alguns projetos específicos, foi necessário adotar a opção A, em detrimento da opção B, devido à impossibilidade de realizar a medição de algum parâmetro específico, pela dificuldade de instalação de medidores. Uma dessas dificuldades pode ser exemplificada em medições de vazão, no caso de tubulações que não atendam às características mínimas necessárias para a instalação do equipamento de medição, ou ainda, pelo fato da tubulação encontrar-se enterrada no solo. Outro agravante em medições de vazão é a presença de incrustações, responsáveis por interferir nos resultados das medições em até 30% da vazão real recalçada. Assim, opta-se pela estimativa coerente do parâmetro que não foi possível ser obtido por meio de medição direta, no caso da vazão, sendo estimado com base nas medições de potência elétrica e pressão.

A Tabela 4.35 apresenta uma síntese das opções de M&V adotadas, de acordo com o uso final, e com a região em que o projeto foi implementado. Para projetos de força motriz, todas as regiões apresentaram a opção B como a mais frequentemente utilizada, com exceção da região Sul, que adotou a opção A em sua maioria.

Tabela 4.35 - Comparação percentual das opções de M&V por região para saneamento

Região	Opção A (%)	Opção B (%)	Opção C (%)	Projetos por região
NE	25,00	75,00	0,00	4
S	75,00	25,00	0,00	4
SE	21,74	73,91	4,35	23

De modo geral, as medições contemplaram grandezas elétricas, para obtenção da potência ativa (W) e consumo (MWh/ano), e grandezas hidráulicas, para verificação da manutenção ou melhoria da capacidade do sistema. Uma das principais dificuldades encontradas durante a implementação dos projetos, foi referente à coleta de dados para atividades de medição e verificação, incluindo a identificação de pontos de medição de vazão na estação, pois em muitos casos, não existe uma setorização clara dos sistemas de abastecimento, nem do número de unidades atendidas por determinado sistema, impondo à necessidade de realizar estimativas de parâmetros. A falta absoluta de uma cultura de medição e monitoramento de parâmetros foi apontada como uma das principais causas de inconsistências observadas entre o diagnóstico energético dos projetos e os resultados apresentados. O fornecimento de dados intuitivos para a etapa inicial de definição do projeto, principalmente dos poços, demonstra a ausência dessa cultura de monitoramento de parâmetros por parte dos operadores de saneamento.

Sabe-se que a Opção B do PIMVP é melhor aplicada onde ocorre a variação do padrão de cargas e/ou do consumo do sistema. Em sistemas de abastecimento de água e saneamento, o consumo de energia elétrica é frequentemente alterado em virtude da demanda de água, que pode ser modificada em diferentes períodos do ano, conforme as estações climáticas, em função da ocupação da cidade, dentre outras variáveis independentes. Portanto, desde que a estimativa de parâmetros para o cálculo de economias, seja consistente com as variações a respeito do volume de água produzido, e dada a impossibilidade de executar medidas para configurar a Opção B, a Opção A é aceitável.

Considerando os projetos de eficiência energética que adotaram a Opção A, em específico, foram levantados os parâmetros-chave selecionados para medição, bem como, a estimativa de parâmetros não selecionados para medição, apresentados na Tabela 4.36.

Tabela 4.36 - Parâmetros medidos e estimados em projetos de saneamento com a opção A

Parâmetros medidos	Parâmetros estimados	Projetos (%)
Potência elétrica	Tempo de utilização / Vazão	33,33
Potência elétrica / Tempo de utilização	Vazão	22,22
Potência elétrica / Vazão	Tempo de utilização	22,22
Potência elétrica / Pressão	Rendimento / Vazão	11,11
Potência elétrica	Tempo de utilização	11,11

Os projetos que adotaram a opção A do PIMVP para aferição das economias de energia, correspondem à 29,03%, da amostra de projetos analisados, ou seja, nove projetos. Todos selecionaram a potência elétrica como parâmetro-chave para medição, apenas dois projetos

(22,22%) realizaram medições de tempo de utilização (pré e pós-*retrofit*). Alguns projetos realizaram a medição do tempo de utilização em apenas um período, com a intenção de obter uma base consistente para realizar a estimativa deste parâmetro, considerando que as medições realizadas em apenas um dos períodos, consiste na estimativa do parâmetro, uma vez que os valores medidos em um período serão subtraídos dos valores estimados em outro período. Nota-se que apenas 22,22% dos projetos adotaram a vazão como parâmetro-chave para medição, enquanto o restante dos projetos optou pela estimativa desse parâmetro. Algumas opções adotadas para a estimativa da vazão recalculada foram, a estimativa em função da potência elétrica medida, a estimativa baseando-se na curva de operação do sistema de bombeamento e a estimativa baseada na vazão total da Estação de Bombeamento de Água Bruta (EBAB).

A Tabela 4.37 apresenta os parâmetros selecionados para medição, para projetos que adotaram a Opção B para aferição de suas economias, que correspondem à 67,74% dos projetos analisados. Todos os projetos consideraram a potência elétrica como um parâmetro importante a ser medido, para avaliação da economia, e 90,48% deles, selecionaram a vazão como parâmetro para medição. De modo geral, houve diversos parâmetros selecionados para medição, em virtude da utilização da Opção B, embora distribuídos em distintos projetos, sendo a potência elétrica (kW), o consumo de energia elétrica (kWh), o tempo de utilização (h) (o qual é extrapolado para horas anuais), pressão (metros de coluna de água) e vazão (m³/h).

Tabela 4.37 - Parâmetros medidos em projetos de saneamento com a opção B

Parâmetros medidos	Projetos (%)
Potência elétrica / Consumo / Tempo de utilização / Pressão / Vazão	28,57
Potência elétrica / Consumo / Pressão / Vazão	23,81
Potência elétrica / Consumo / Vazão	23,81
Potência elétrica / Consumo / Tempo de utilização / Vazão	14,29
Potência elétrica / Consumo / Tempo de utilização	4,76
Potência elétrica / Tempo de utilização / Pressão	4,76

A diversidade de parâmetros selecionados para medição, (considerados como parâmetros fundamentais para o cálculo do padrão de consumo, e conseqüentemente, pela energia economizada), conforme a Tabela 4.37, demonstra que mesmo em projetos semelhantes do mesmo setor, de modo geral, não há uma padronização a respeito dos parâmetros indispensáveis e dispensáveis para medição, podendo gerar incertezas nos resultados das AEEs.

A Opção C para aferição de economias foi utilizada por apenas um dos projetos em análise (correspondendo à 3,23% da amostra). Neste projeto, foram instalados medidores que realizaram o registro da demanda e do consumo elétrico de toda a instalação. Tal opção foi adotada, visto que múltiplas AEEs foram implementadas, as quais focaram principalmente no

aumento da capacidade de armazenamento do sistema e no aumento da produção de água. Para isso, foram construídos novos reservatórios e perfurado um novo poço, bem como, realizada a automação de alguns pontos do sistema, sendo o funcionamento das bombas controlado pelo nível dos reservatórios.

Foi observado que 29,03% dos projetos utilizaram o indicador de consumo específico, expresso em kWh/m³, para avaliar os resultados das AEEs, comparando a diminuição da energia elétrica necessária para bombear o mesmo volume de água, no período pós-*retrofit*. Embora seja um indicador importante para o projeto em geral e para permitir o acompanhamento da eficiência do sistema ao longo do tempo, 70,97% dos projetos não apresentaram essa informação em seus relatórios de M&V. Vilanova e Balestieri (2015) apontaram que um grande desafio para a análise da eficiência energética no setor de abastecimento de água e saneamento é a falta do registro de indicadores de eficiência hidráulica e energética, pois a ausência de tais indicadores, prejudica a análise entre a situação atual do sistema e a sua condição técnica ideal.

A respeito da duração dos períodos de medição da linha de base e da determinação da economia, os projetos analisados apresentaram os seguintes períodos, conforme a Tabela 4.38.

Tabela 4.38 - Períodos de medição utilizados em projetos de saneamento

Período de medição (linha de base)	Período de medição (determinação da economia)	Projetos (%)
7 dias	7 dias	67,74
24 horas	24 horas	9,68
30 dias (grandezas elétricas) / 15 dias (grandezas hidráulicas)	30 dias (grandezas elétricas) / 15 dias (grandezas hidráulicas)	6,45
48 horas	48 horas	3,23
22 dias (potência elétrica e pressão) / 1h15 (vazão)	30 dias (potência elétrica e pressão) / 8h (vazão)	3,23
2 horas / 24 horas	2 horas / 24 horas / 48 horas / 96 horas	3,23
Análise das faturas de energia elétrica de um ano	7 dias	3,23
7 dias	7 dias (potência elétrica e pressão) / 6 horas (vazão)	3,23

Percebe-se que os períodos de medição foram diversos, porém, a predominância foi de 7 dias (67,74% dos projetos). Recomenda-se que para determinar o modelo de consumo da linha de base, deve-se usar dados registrados de um ou mais anos de faturamento (correspondendo a 12 ou mais medições). Na ausência desses registros, é necessário realizar a coleta de dados, sendo que a medição de um ciclo de funcionamento normal, corresponde a 7 dias. Com base nos resultados obtidos da medição de um ciclo completo de funcionamento, é possível expandir os resultados para um ano, de modo a expressar o padrão de consumo do

sistema ou equipamento em MWh/ano. Em alguns projetos, os pontos para medição de parâmetros hidráulicos encontravam-se fora das instalações dos operadores de saneamento, o que impossibilitou a permanência dos equipamentos no local de medição por tempo prolongado, dado o risco de o equipamento de medição ser furtado.

A fronteira de medição, para projetos que se basearam na Opção A, foi considerada como sendo o quadro de comando que realiza a alimentação elétrica dos equipamentos de bombeamento considerados na AEE. Já para projetos que adotaram a Opção B, além da consideração do quadro de comando para medições de parâmetros elétricos, considerou-se como fronteira de medição para os parâmetros hidráulicos, a adutora de recalque individual de cada equipamento de bombeamento envolvido na AEE. Dos projetos analisados, apenas um deles utilizou a Opção C para aferição das economias, onde foram realizadas as medições de demanda e consumo de energia elétrica, considerando como fronteira de medição, toda a instalação.

Quanto aos fatores estáticos, 67,74% dos projetos não mencionam nenhuma informação a respeito deste parâmetro para o estabelecimento do modelo de consumo de energia e cálculo das economias, enquanto 32,26% dos projetos mencionaram as possíveis variações sazonais a respeito do tempo de funcionamento do sistema, onde recomenda-se o monitoramento destes parâmetros, para em caso de alteração, realizar o ajuste do modelo de consumo de energia da instalação. A complexidade do modelo de consumo aumenta se alguns fatores estáticos forem considerados como variáveis independentes, porém, deve-se decidir na prática, perante as particularidades de cada instalação e AEE. Em algumas instalações, um parâmetro pode ser um fator estático, e em outra instalação, este mesmo parâmetro pode consistir em uma variável independente. Os efeitos interativos não foram considerados, nem se quer mencionados, em nenhum dos projetos analisados.

A análise referente à consideração de variáveis independentes mostrou que 38,71% dos projetos não considera ou não menciona sobre variáveis independentes nas considerações do modelo de consumo de energia. Por outro lado, 35,48% dos projetos, citou a vazão como variável independente, porém, deste percentual, aproximadamente 54,54% não apresentou nenhum modelo que relaciona a energia consumida com a vazão, enquanto 45,45% apresentou algum modelo de regressão linear ou polinomial de segunda ordem. Do restante dos projetos, 22,58% citou um conjunto de possíveis variáveis independentes, como a sazonalidade do consumo de água, a potência dos equipamentos de bombeamento, a pressão de recalque (a montante e a jusante), a densidade do fluido, o regime de funcionamento do sistema, além da vazão. Entretanto, apenas 28,57% destes apresentaram modelos de regressão. Por fim, 3,23%

dos projetos apresentou como variável independente, a vazão e a temperatura ambiente, porém, não construiu nenhum modelo de regressão que explique a variação do consumo de energia elétrica em relação à variação destes parâmetros.

Também foi observada a elaboração de modelos de regressão, ou seja, modelos que são capazes de explicar o consumo de energia elétrica do sistema devido as alterações das variáveis independentes. Constatou-se que 70,97% dos projetos não desenvolveram nenhum modelo de regressão que explique as variações do consumo de energia elétrica com a variável independente (vazão de água bombeada, por exemplo). Por fim, 16,13% dos projetos elaboraram modelos de regressão polinomial de segunda ordem e 12,90% elaboraram modelos de regressão linear, explicando o padrão do consumo de energia elétrica de acordo com a variação do volume de água bombeado, obtendo boas aproximações.

Outro ponto a ser discutido, refere-se aos ajustes realizados a linha de base, sendo demonstrado que 74,19% dos projetos não realizaram nenhum ajuste, considerando-se que as condições pós-*retrofit* mantiveram-se iguais ao período da linha de base. Por outro lado, apenas 25,81% dos projetos realizaram algum tipo de ajuste na linha de base, sendo ajustes devido alterações no regime de vazão e considerações a respeito da sazonalidade mensal de consumo. Embora seja recomendado que se utilize os registros de pelo menos um ano (ano base) para conhecer o padrão de sazonalidade do consumo da água e estabelecer o período da linha de base, muitos projetos não utilizaram esse recurso, seja pelo não monitoramento de parâmetros por parte dos operadores de saneamento, ou pelo desconhecimento das técnicas adequadas de M&V do setor.

Observou-se em muitos projetos, que para o cálculo da energia economizada com as AEEs, foi inicialmente fixado o volume aduzido antes da troca de equipamentos ineficientes e calculada a energia necessária para aduzir o mesmo volume, após a implementação do projeto. Desta forma, afirma-se conseguir a garantia da equalização dos ganhos obtidos com o aumento da vazão e com a redução do consumo, acarretados pela AEE executada.

As ações de eficiência energética observadas com maior recorrência em prestadoras de serviços de saneamento, consistiram na troca de conjuntos moto-bomba antigos e ineficientes, por equipamentos modernos, com alto nível de eficiência energética. Além disso, também foram instalados inversores de frequência e *soft-starters*, bem como sistemas de controle e automação para os sistemas de bombeamento, e sistemas de monitoramento e proteção para poços e reservatórios. Foram construídos reservatórios para o armazenamento de água, de modo a deslocar a carga de bombeamento de água para o horário fora de ponta, e por consequência, reduzir os custos no horário em que a energia elétrica e demanda possuem preços mais elevados.

Outras ações importantes foram realizadas paralelamente, consistindo no diagnóstico de contenção de perdas, incluindo estudos de setorização, pesquisa e conserto de vazamentos e gerenciamento de pressões (instalação de válvulas redutoras de pressão e medidores de vazão).

Por fim, foi realizado o levantamento da quantidade de equipamentos eficientes implementados nos projetos de saneamento, de acordo a Tabela 4.39. Além da quantidade de motores e bombas de recalque, também foram instalados 172 inversores de frequência.

Tabela 4.39 - Quantitativo de equipamentos implementados em projetos de saneamento

Faixa de potência (cv)	Quantidade de motores	Quantidade de bombas de recalque
Até 50	131	271
50 - 100	37	7
100 - 150	18	3
150 - 200	3	5
200 - 250	13	4
Acima de 250	15	9
Total	217	299

Não houve, para nenhuma das três tipologias, a previsão de monitoramento dos resultados e de novas medições após a conclusão dos projetos, ou seja, a etapa conhecida por avaliação de longo prazo. O objetivo principal da avaliação de longo prazo consiste em medir o desempenho das instalações eficientizadas no decorrer do tempo, considerando possíveis alterações de resultados de economia, oriundos pela depreciação de equipamentos e mudanças das condições operacionais (GIZ, 2019). Uma vez que a energia economizada obtida pelas atividades de M&V é extrapolada para toda a vida útil dos equipamentos, é fundamental o monitoramento no decorrer do tempo, de modo a constatar se as economias previstas estão de fato, sendo realizadas, e se os equipamentos implementados permanecem em funcionamento, ou no caso de ocorrer a danificação precoce dos equipamentos, que o mesmo modelo de equipamento eficiente seja instalado no local.

De modo geral, percebeu-se que os resultados dos projetos na área de saneamento são satisfatórios, embora ainda incipientes dentro do programa, em comparação à outras tipologias de projeto. Apesar dos esforços e iniciativas para o aumento da eficiência energética dos sistemas de saneamento, o potencial existente para a redução de perdas e adoção de melhorias é enorme. Conforme informações do PNEf, foi previsto um potencial técnico de recuperação de energia elétrica de 4,71 TWh, valor correspondente a 45,19% do consumo de energia elétrica do setor no ano de 2007, sendo 2,62 TWh com a redução de perdas reais de água e 2,08 TWh com a redução da altura manométrica de bombeamento, modulação de carga, utilização de conversores de frequência, sistemas e bombas eficientes (BRASIL, 2011a).

5 CONCLUSÃO

Os resultados gerais dos projetos analisados para as três tipologias apresentaram resultados satisfatórios, tanto em valores de energia economizada, como em redução de demanda na ponta e RCB, o que demonstra que o PEE é um mecanismo eficaz na promoção da conservação de energia no país, por meio da realização de projetos em vários setores da economia. Dentre as três tipologias, aquela envolvendo os projetos de saneamento (serviços públicos), consistiu na tipologia que possui os menores indicadores de custo por unidade de energia economizada e de demanda retirada da ponta. Isso indica que, a referida tipologia possui uma maior eficiência na utilização dos recursos financeiros do PEE, em relação às outras tipologias, que apresentaram indicadores de custo superiores.

Nas atividades de M&V dos projetos avaliados, constatou-se que quanto maior a complexidade do padrão de consumo de energia elétrica do uso final em análise, maior serão os custos envolvidos com atividades de M&V, para aferição do consumo antes e após o *retrofit*, e por consequência, da economia obtida. Foi possível perceber esse fato nos projetos de saneamento, os quais apresentaram o maior percentual médio de custos de M&V por projeto. Já para os projetos de baixa renda, foi apresentado o menor percentual médio de custos com M&V, dada as simplificações das ações de M&V e a predominância da adoção da Opção A.

De modo geral, existem muitos padrões distintos das ações de M&V, para os mesmos usos finais passíveis das AEEs, sendo realizadas com frequência, muitas simplificações no processo de aferição das economias. Por muitas vezes, os relatórios não apresentaram ou não consideraram alguns parâmetros importantes que influenciam o consumo de energia elétrica dos equipamentos, como por exemplo, as variáveis independentes. Principalmente para o uso final em condicionamento de ar, verificou-se que a maior parte dos projetos não considerou a média de temperatura ambiente para realização de correlação com o consumo de energia elétrica, além de não efetuarem ajustes ao padrão de consumo dos equipamentos, para os diferentes períodos sazonais do ano. Além disso, a predominância de utilização da Opção A do PIMVP para o uso final em condicionamento de ar, mostra o intuito de simplificar os custos com M&V, ou ainda, a falta de habilidades técnicas nas especificidades da M&V, por parte dos profissionais que executam o Plano de M&V. A utilização da Opção D não foi observada em nenhum dos projetos analisados, visto que a adoção desta opção, normalmente é mais onerosa, complexa, e requer o trabalho de especialistas em software de modelagem computacional.

Foi observado que não há, de modo geral, uma padronização a respeito de quais parâmetros serão medidos e quais serão estimados, com exceção do uso final em iluminação, o

qual é bem definido pela adoção da Opção A, com a medição da potência instantânea consumida, e a estimativa do tempo de utilização e do FCP. Tal fato propicia diferentes abordagens para a aferição das economias, excluindo muitas vezes, parâmetros importantes das medições, como é o caso da temperatura ambiente, para condicionamento de ar, e da vazão de água, para saneamento.

Isso demonstra que a M&V, embora de realização obrigatória para os projetos no âmbito do PEE, possui a tendência das atividades serem simplificadas sempre que possível. De fato, verificou-se que não é um processo de simples entendimento e execução, por parte dos profissionais, o que acarreta dúvidas e possíveis incertezas aos resultados das economias dos projetos. Com isso, entende-se que a M&V precisa ser mais difundida e melhor entendida pelos profissionais que executam projetos no âmbito do PEE, inclusive com a possibilidade de as concessionárias de energia elétrica oferecerem treinamentos na área, de modo que a capacitação dos profissionais possa ser refletida em estratégias de M&V melhor elaboradas e executadas.

Para a área de saneamento, foi constatado que a falta de uma cultura de medição de parâmetros elétricos e hidráulicos no setor é um grave problema, pois os diagnósticos energéticos elaborados para os operadores de saneamento, são frequentemente baseados em dados de placa, além de práticas operacionais empíricas, podendo acarretar resultados não confiáveis. Assim, a substituição de equipamentos antigos por outros mais eficientes, não garante o sucesso do projeto, visto que o dimensionamento deve levar em conta as reais condições operacionais das instalações, que só podem ser determinadas por meio de registros confiáveis das grandezas elétricas e hidráulicas.

Em síntese, o PEE constitui-se de uma importante iniciativa para a promoção da meta de eficiência energética proposta pelo PNEf, demonstrando sua viabilidade, visto que os custos médios de energia e demanda evitados dos projetos são menores do que os custos de expansão do sistema elétrico, contribuindo dessa forma, para a sustentabilidade energética. Entretanto, para que tais metas sejam alcançadas, é fundamental ultrapassar as barreiras técnicas e regulatórias e destinar os recursos de forma mais eficaz, atacando setores da economia responsáveis por grandes parcelas de consumo, como é o caso do setor industrial, de serviços, e de saneamento, o qual apresentou os menores indicadores de custo por unidade de energia economizada e demanda reduzida da ponta.

A metodologia de análise empregada neste trabalho, auxilia em uma melhor compreensão das atividades de M&V de projetos do PEE, suscitando discussões sobre a confiabilidade de resultados de economia de energia, os quais permitem acompanhar o progresso da eficiência energética no país. Tal análise pode servir de base para avaliação da

M&V de outras iniciativas de conservação de energia, ressaltando que, mais importante do que avaliar apenas os resultados de economia obtidos por um programa de eficiência energética, está a avaliação das atividades de M&V e das considerações adotadas neste processo, uma vez que são responsáveis por proporcionar os resultados de economia de energia e garantir a sua confiabilidade.

Concluindo, é oportuno listar algumas sugestões para trabalhos futuros, como ampliar o número de projetos para análise da M&V, estender a análise para outras tipologias de projeto, principalmente para o setor industrial (que possui grande potencial para conservação de energia), além da proposição de um conjunto de boas práticas de M&V, de acordo com as principais AEEs do PEE, de modo a padronizar a forma de medir e verificar os resultados de diferentes ações realizadas pelo programa.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Investimento no PEE desde a publicação da RN 300/2008 até março de 2016.** 2018c. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656831/14930488/PEE+Projetos+junho2016/7a401677-72ac-4557-8532-adb200c1a753>. Acesso em: 22 nov. 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual para elaboração do Programa de Eficiência Energética.** Brasília: ANEEL, 2008a. 63 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Procedimentos do Programa de Eficiência Energética.** Brasília: ANEEL, 2018b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Relação de projetos de eficiência energética concluídos.** 2018d. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656831/15189212/consulta+PEE/57c1f997-77e3-8e27-4a71-5ba0ec64887f>. Acesso em: 10 set. 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução ANEEL nº 242, de 24 de julho de 1998.** Estabelece a aplicação de 1% da receita operacional anual apurada no ano anterior em ações de eficiência no uso e na oferta de energia elétrica. Brasília: ANEEL, 1998.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução ANEEL nº 261, de 03 de setembro de 1999.** Estabelece investimentos mínimos da receita operacional anual, em atividades de P&D e ações de uso final de energia elétrica. Brasília: ANEEL, 1999.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução ANEEL nº 271, de 19 de julho de 2000.** Estabelece os critérios de aplicação de recursos em ações de combate ao desperdício de energia elétrica e pesquisa e desenvolvimento tecnológico do setor elétrico brasileiro. Brasília: ANEEL, 2000.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução ANEEL nº 153, de 18 de abril de 2001.** Altera os critérios de aplicação de recursos em ações de combate ao desperdício de energia elétrica para o Ciclo 2000/2001, estabelecidos na Resolução ANEEL nº 271 de 19 de julho de 2000. Brasília: ANEEL, 2001a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução ANEEL nº 185, de 21 de maio de 2001.** Estabelece critérios para cálculo e aplicação dos recursos destinados à Pesquisa e Desenvolvimento, bem como em Eficiência Energética, pelas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica. Brasília: ANEEL, 2001b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução ANEEL nº 186, de 23 de maio de 2001.** Altera dispositivos e promove ajustes na Resolução ANEEL nº 153 de 18 de abril de 2001 que trata dos critérios para aplicação de recursos em ações de combate ao desperdício de energia elétrica para o Ciclo 2000/2001. Brasília: ANEEL, 2001c.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução ANEEL nº 394, de 17 de setembro de 2001.** Estabelece os critérios para aplicação de recursos em projetos de combate ao desperdício de energia elétrica. Brasília: ANEEL, 2001d.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução ANEEL nº 492, de 03 de setembro de 2002.** Estabelece os critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética. Brasília: ANEEL, 2002.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 063, de 12 de maio de 2004.** Aprova procedimentos para regular a imposição de penalidades aos concessionários, permissionários, autorizados e demais agentes de instalações e serviços de energia elétrica. Brasília: ANEEL, 2004.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 176, de 28 de novembro de 2005.** Estabelece critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética. Brasília: ANEEL, 2005.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 219, de 11 de abril de 2006.** Aprova o Manual dos Programas de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor de Energia Elétrica e dá outras providências. Brasília: ANEEL, 2006a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 233, de 24 de outubro de 2006.** Estabelece os critérios e procedimentos para o cálculo, a aplicação e o recolhimento, pelas concessionárias, permissionárias e autorizadas, dos recursos previstos na Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Brasília: ANEEL, 2006b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 300, de 12 de fevereiro de 2008.** Estabelece critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética, e dá outras providências. Brasília: ANEEL, 2008b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 556, de 18 de junho de 2013.** Aprova os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética. Brasília: ANEEL, 2013a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa ANEEL nº 830, de 23 de outubro de 2018.** Altera os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética e aprova a revisão do Submódulo 5.6: Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética dos Procedimentos de Regulação Tarifária. Brasília: ANEEL, 2018e.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Revista Eficiência Energética: A busca da articulação entre ações de incentivo.** Brasília: ANEEL, v. 1, ago. 2013b.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética. Superintendência de Regulação Econômica e Estudos do Mercado. **Nota Técnica nº 0158/2018-SPE-SRM/ANEEL, de 5 de junho de 2018.** Abertura de Consulta Pública visando coletar subsídios sobre o conceito de Leilão de Eficiência Energética e o conjunto de metodologias e premissas utilizado na Análise de Impacto Regulatório de projeto piloto a ser realizado em Roraima. Brasília: SPE/SEM, 2018a.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento e Eficiência Energética. **Nota Técnica nº 0356/2019-SPE/SEL/SRM/ANEEL, de 12 de dezembro de 2019.** Abertura de Consulta Pública para subsidiar o aprimoramento do Edital do Leilão de Eficiência Energética nº 4/2020-ANEEL. Brasília: SPE, 2019.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Treinamento para o Guia de M&V – 1.2: Terminologia da M&V**. Brasília: ANEEL, 2014.

ALTOÉ, L. *et al.* Políticas públicas de incentivo à eficiência energética. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 31, n. 89, p. 285-297, abr. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-40142017.31890022>.

AMERICAN COUNCIL FOR AN ENERGY-EFFICIENT ECONOMY. **The 2018 International Energy Efficiency Scorecard**. Washington: ACEEE, 2018. 132 p. Disponível em: <https://aceee.org/research-report/i1801>. Acesso em: 13 jun. 2019.

ARMANDO, T. J. de C. G. L. **Desenvolvimento de um Guia de Medição e Verificação do desempenho energético**. 2011. 135 p. Dissertação (Mestrado) - Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, Porto, 2011.

ASSUNÇÃO, J.; SCHUTZE, A. **Panorama da eficiência energética no Brasil**. 2017. Rio de Janeiro: Climate Policy Initiative & Núcleo de Avaliação de Políticas Climáticas da PUC-Rio, 2017. 38 p.

BAJAY, S. *et al.* **Geração distribuída e eficiência energética: Reflexões para o setor elétrico de hoje e do futuro**. Campinas: IEI Brasil, 2018. 331 p.

BRASIL. **Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000**. Dispõe sobre 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: Casa Civil, 2000.

BRASIL. **Lei nº 11.465, de 28 de março de 2007**. Altera os incisos I e III do caput do art. 1º da Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, prorrogando, até 31 de dezembro de 2010, a obrigação de as concessionárias e permissionárias de serviços públicos de distribuição de energia elétrica aplicarem, no mínimo, 0,50% (cinquenta centésimos por cento) de sua receita operacional líquida em programas de eficiência energética no uso final. Brasília: Casa Civil, 2007d.

BRASIL. **Lei nº 12.212, de 20 de janeiro de 2010**. Dispõe sobre a Tarifa Social de Energia Elétrica; altera as Leis nºs 9.991, de 24 de julho de 2000, 10.925, de 23 de julho de 2004, e 10.438, de 26 de abril de 2002; e dá outras providências. Brasília: Casa Civil, 2010d.

BRASIL. **Lei nº 13.203, de 08 de dezembro de 2015**. Dispõe sobre a repactuação do risco hidrológico de geração de energia elétrica. Brasília: Secretaria-Geral, 2015.

BRASIL. **Lei nº 13.280, de 03 de maio de 2016**. Altera a Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, para disciplinar a aplicação dos recursos destinados a programas de eficiência energética. Brasília: Secretaria-Geral, 2016.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Eficiência Energética: premissas e diretrizes básicas**. Brasília: MME, 2011a. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432134/Plano+Nacional+Efici%C3%A2ncia+En>

erg%C3%A9tica+%28PDF%29/74cc9843-cda5-4427-b623-b8d094ebf863?version=1.1.
Acesso em: 11 jun. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Relatório de Atividades do Comitê Gestor de Indicadores e Níveis de Eficiência Energética 2002 - 2008**. Brasília: MME, 2009. Disponível em: http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139097/Relatorio_CGIEE_2002-2008.pdf/f97dd362-6e93-4230-b68d-7c073f7af7ab. Acesso em: 11 jun. 2019.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia. **Portaria nº 577/2015, de 18 de novembro de 2015**. Brasília: MDIC/INMETRO, 2015.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Decreto nº 4.508, de 11 de dezembro de 2002**. Dispõe sobre a regulamentação específica que define os níveis mínimos de eficiência energética de motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo, de fabricação nacional ou importados, para comercialização ou uso no Brasil, e dá outras providências. Brasília: MME, 2002.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 553, de 8 de dezembro de 2005**. Aprova o Programa de Metas de motores elétricos de indução trifásicos. Brasília: MME/MCT/MDIC, 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 132, de 12 de junho de 2006**. Aprova a Regulamentação Específica de lâmpadas fluorescentes compactas. Brasília: MME/MCT/MDIC, 2006.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 362, de 24 de dezembro de 2007**. Aprova o Programa de Metas para refrigeradores e congeladores. Brasília: MME/MCT/MDIC, 2007a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 363, de 24 de dezembro de 2007**. Aprova a Regulamentação Específica de fogões e fornos a gás. Brasília: MME/MCT/MDIC, 2007b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 364, de 24 de dezembro de 2007**. Aprova a Regulamentação Específica de condicionadores de ar. Brasília: MME/MCT/MDIC, 2007c.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 298, de 10 de setembro de 2008**. Aprova a Regulamentação Específica de aquecedores de água a gás. Brasília: MME/MCT/MDIC, 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 959, de 9 de dezembro de 2010**. Aprova a Regulamentação Específica de reatores eletromagnéticos para lâmpadas a vapor de sódio de alta pressão e a vapor metálico. Brasília: MME/MCT/MDIC, 2010a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 1.007, de 31 de dezembro de 2010**. Aprova a Regulamentação Específica de lâmpadas incandescentes. Brasília: MME/MCT/MDIC, 2010b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 1.008, de 31 de dezembro de 2010**. Aprova o Programa de Metas de lâmpadas fluorescentes compactas. Brasília: MME/MCT/MDIC, 2010c.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 323, de 26 de maio de 2011**. Aprova o Programa de Metas para condicionadores de ar. Brasília: MME/MCT/MDIC, 2011b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 324, de 26 de maio de 2011**. Aprova o Programa de Metas para aquecedores de água a gás. Brasília: MME/MCT/MDIC, 2011c.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 325, de 26 de maio de 2011**. Aprova o Programa de Metas para fogões e fornos a gás. Brasília: MME/MCT/MDIC, 2011d.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência e Tecnologia. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 326, de 26 de maio de 2011**. Aprova o Programa de Metas para refrigeradores e congeladores. Brasília: MME/MCT/MDIC, 2011e.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 104, de 22 de março de 2013**. Aprova a Regulamentação Específica de transformadores de distribuição em líquido isolante e o seu respectivo Programa de Metas. Brasília: MME/MCTI/MDIC, 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº 1, de 29 de junho de 2017**. Aprova o Programa de Metas para motores elétricos trifásicos de indução rotor gaiola de esquilo. Brasília: MME/MCTI/MDIC, 2017a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. **Portaria Interministerial nº**

2, de 29 de junho de 2017. Aprova a Regulamentação Específica de ventiladores de teto. Brasília: MME/MCTI/MDIC, 2017b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Portaria Interministerial nº 1, 14 de maio de 2018.** Aprova o Programa de Metas para refrigeradores e congeladores. Brasília: MME/MDIC/MCTIC, 2018a.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Portaria Interministerial nº 2, 14 de maio de 2018.** Aprova o Programa de Metas para condicionadores de ar. Brasília: MME/MDIC/MCTIC, 2018b.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. **Portaria Interministerial nº 3, 14 de maio de 2018.** Aprova o Programa de Metas para transformadores de distribuição em líquido isolante. Brasília: MME/MDIC/MCTIC, 2018c.

CAMIOTO, F. de C.; MARIANO, E. B.; REBELATTO, D. A. do N. Efficiency in Brazil's industrial sectors in terms of energy and sustainable development. **Environmental Science & Policy**, [s.l.], v. 37, p. 50-60, mar. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2013.08.007>.

CARDOSO, R. B. **Estudo dos impactos energéticos dos Programas Brasileiros de Etiquetagem Energética:** Estudo de caso em refrigeradores de uma porta, condicionadores de ar e motores elétricos. 2012. 131 p. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

CARSTENS, H.; XIA, X.; YADAVALLI, S. Measurement uncertainty in energy monitoring: Present state of the art. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 82, p. 2791-2805, fev. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.006>.

EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION. **Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance:** conceitos e opções para a determinação de economias de energia e de água. Toronto: EVO, 2012. 125 p.

ELETROBRAS. **Nova tarifa de energia elétrica:** metodologia e aplicação. Brasília: DNAEE, 1985. 444 p.

ELETROBRAS. **Relatório de resultados do PROCEL 2015:** ano base 2014. Rio de Janeiro: PROCEL, 2015. 71 p.

ELETROBRAS. **Relatório de resultados do PROCEL 2016:** ano base 2015. Rio de Janeiro: PROCEL, 2016. 75 p.

ELETROBRAS. **Relatório de resultados do PROCEL 2017:** ano base 2016. Rio de Janeiro: PROCEL, 2017. 63 p.

ELETROBRAS. **Relatório de resultados do PROCEL 2018:** ano base 2017. Rio de Janeiro: PROCEL, 2018. 60 p.

ELETROBRAS. **Relatório de resultados do PROCEL 2019**: ano base 2018. Rio de Janeiro: PROCEL, 2019. 65 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2018**: Ano base 2017. Rio de Janeiro: EPE, 2018. 248 p.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Relatório Síntese do Balanço Energético Nacional 2018**: Ano base 2017. Rio de Janeiro: EPE, 2018c. 62 p.

FEDERAL ENERGY MANAGEMENT PROGRAM. **M&V Guidelines**: Measurement and Verification for Performance-Based Contracts, Version 4.0. Washington, DC: FEMP, 2015. 108 p. Disponível em: https://www.energy.gov/sites/prod/files/2016/01/f28/mv_guide_4_0.pdf. Acesso em: 12 set. 2019.

GARCIA, A. G. P. **Treinamentos sobre o Guia de M&V**: Preparação dos treinamentos das distribuidoras. [s.l.]: GIZ, 2014. 11 p. Programa Energias Renováveis e Eficiência Energética, GIZ Brasil.

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT (GIZ). **Projetos de Eficiência Energética em Saneamento - Guia auxiliar para os Procedimentos do Programa de Eficiência Energética – PROPEE da ANEEL**. GIZ, 2019. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/proeesa/pdf/2019-05-21_Guia_Saneamento_PROPEE_ANEEL_V2.pdf. Acesso em: 02 dez. 2019.

HADDAD, J. A lei de eficiência energética e os possíveis impactos nos setores produtivos. *In*: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002a, Campinas. **Proceedings online...** Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022002000100006&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 12 jun. 2019.

HADDAD, J. Uso eficiente da energia: dos incentivos regulatórios recentes até a atual lei de eficiência energética. **Revista Brasileira de Energia**, v. 9, n. 01, 2002b.

ICF INTERNATIONAL; JORDÃO ENGENHARIA; PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO (PUC-RIO). **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 ABRADÉE da Energia, com o apoio da FUPAI. Rio de Janeiro, 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Selos de Eficiência Energética**. 2019. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbeSelo.asp>. Acesso em: 26 ago. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Efficiency Indicators 2018**. Paris: IEA, 2018a. 191 p. Disponível em: <https://www.iea.org/statistics/efficiency/>. Acesso em: 12 ago. 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy efficiency 2018: Analysis and outlooks to 2040**. Paris: IEA/OECD, 2018b. 174 p. Disponível em: <https://www.iea.org/efficiency2018/>. Acesso em: 13 jun. 2019.

JANNUZZI, G. de M.; SWISHER, J.; REDLINGER, R. **Planejamento Integrado de Recursos Energéticos: Oferta, demanda e suas interfaces**. 2. ed. Campinas: IEI Brasil, 2018. 254 p. Disponível em: <https://iei-brasil.org/livro-pir/>. Acesso em: 12 jun. 2019.

JANNUZZI, G. de M. Power sector reforms in Brazil and its impacts on energy efficiency and research and development activities. **Energy Policy**, [s.l.], v. 33, n. 13, p. 1753-1762, set. 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2004.02.015>.

KÄSSMAYER, K.; FRAXE NETO, H. J. **A entrada em vigor do Acordo de Paris: o que muda para o Brasil?** Brasília: Núcleo de Estudos e Pesquisas/CONLEG/Senado, 2016. Disponível em: <http://www2.senado.leg.br/bdsf/item/id/528873>. Acesso em: 13 jun. 2019.

KAISER, M. J.; PULSIPHER, A. G. Preliminary assessment of the Louisiana Home Energy Rebate Offer program using IPMVP guidelines. **Applied Energy**, [s.l.], v. 87, n. 2, p. 691-702, fev. 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.08.001>.

LEITE, F. C. **Modelamento da eficiência energética para o gerenciamento sustentável no setor industrial pela medição e verificação**. 2010. 94 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

LINDELÖF, D. *et al.* Bayesian verification of an energy conservation measure. **Energy and Buildings**, [s.l.], v. 171, p. 1-10, jul. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.005>.

OLINGA, Z.; XIA, X.; YE, X. A cost-effective approach to handle measurement and verification uncertainties of energy savings. **Energy**, [s.l.], v. 141, p. 1600-1609, dez. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.103>.

ROCHA, F. A. da. **Guia de procedimentos de medição e verificação para projetos de eficiência energética em edifícios**. 2009. 94 p. Dissertação (Mestrado) - Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Universidade do Porto, Porto, 2009.

SANTOS, R. E. R. dos. **A contribuição da conservação de energia elétrica em instalações residenciais e seu impacto no planejamento da expansão da geração futura, com base na análise do Programa de Eficiência Energética - PEE desenvolvidas pelas concessionárias de energia elétrica no Brasil**. 2018. 170 p. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

SILVA, F. I. A.; GUERRA, S. M. G. Analysis of the energy intensity evolution in the Brazilian industrial sector - 1995 to 2005. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 13, n. 9, p. 2589-2596, dez. 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.003>.

SOUZA, A. de; GUERRA, J. C. C.; KRUGER, E. L. Os programas brasileiros em eficiência energética como agentes de reposicionamento do setor elétrico. **Revista Tecnologia e Sociedade**, [s.l.], v. 7, n. 12, jun. 2011.

SOUZA, H. M. *et al.* Reflexões sobre os principais programas em eficiência energética existentes no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, [s.l.], v. 15, n. 1, p. 7-26, 2009.

VIEIRA, N. D. B. *et al.* Diagnóstico estratégico de projetos de baixa renda no âmbito do Programa de Eficiência Energética (PEE) da ANEEL. *In: SEMINÁRIO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA*, 22., 2016, Curitiba. **Anais eletrônicos** [...]. Curitiba: ABRADDEE, 2016. p. 1-10. Disponível em: <<http://abradee03.org/send2016/wp-content/uploads/2016/12/4456.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2019.

VILANOVA, M. R. N.; BALESTIERI, J. A. P. Modeling of hydraulic and energy efficiency indicators for water supply systems. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 48, p. 540-557, ago. 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.024>.

WALTER, T.; PRICE, P. N.; SOHN, M. D. Uncertainty estimation improves energy measurement and verification procedures. **Applied Energy**, [s.l.], v. 130, p. 230-236, out. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.05.030>.

WORLD BANK. **Assessing and measuring the performance of energy efficiency projects**. ESMAP Technical Report 011/17. Washington, D.C.: World Bank Group, 2017. Disponível em: <http://documents.worldbank.org/curated/en/531691498680679016/Assessing-and-measuring-the-performance-of-energy-efficiency-projects>. Acesso em: 18 jul. 2019.

XIA, X.; ZHANG, J. Mathematical description for the measurement and verification of energy efficiency improvement. **Applied Energy**, [s.l.], v. 111, p. 247-256, nov. 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.04.063>.

YE, X.; XIA, X. Optimal metering plan for measurement and verification on a lighting case study. **Energy**, [s.l.], v. 95, p. 580-592, jan. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2015.11.077>.

APÊNDICE A – COMPARAÇÃO ENTRE PROTOCOLOS DE M&V

Protocolo	Aplicação	Características principais	Cobertura geográfica	Comentários
Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP)	Descreve métodos para determinar a economia de água e energia em projetos de EE. Apresenta recomendações para reportar as economias de forma confiável e consistente, as quais podem ser usadas para elaborar o plano de M&V.	Apresenta quatro opções de M&V para avaliar as economias: Opção A: Medição isolada da AEE (medição de parâmetros-chave); Opção B: Medição isolada da AEE (medição de todos os parâmetros); Opção C: Toda a instalação; Opção D: Simulação calibrada.	Global	O PIMVP é uma das diretrizes mais abrangentes para a M&V e tornou-se o padrão de recomendações para M&V em muitos países, sendo amplamente utilizado.
<i>Federal Energy Management Program (FEMP) M&V Guidelines</i>	As diretrizes de M&V do FEMP foram lançadas nos Estados Unidos para auxiliar as agências do governo federal a medir e verificar as economias obtidas por meio de contratos de desempenho, para edifícios federais.	Semelhante ao PIMVP, apresenta quatro opções de M&V.	EUA	O FEMP é uma aplicação do PIMVP para AEEs implementadas em edifícios federais.
<i>The Uniform Methods Project (UMP): Methods for Determining Energy Efficiency Savings for Specific Measures</i>	Os protocolos fornecem um método direto para avaliar a economia de energia bruta para medidas residenciais, comerciais e industriais comumente oferecidas em programas financiados pelo contribuinte nos Estados Unidos.	Os protocolos de medição baseiam-se em uma opção específica do PIMVP, mas incluem procedimentos adicionais necessários para agregar economias de projetos individuais a fim de avaliar os impactos em todo o programa.	EUA	Desenvolvido pelo US DOE, compõe um conjunto de protocolos para determinar a economia a partir de medidas e programas de eficiência energética.
ASHRAE Guideline 14-2002: Medição de economias de energia e demanda	A ASHRAE 14-2002 é um protocolo de M&V altamente técnico, o qual requer a medição de todos os parâmetros (estimativas não são permitidas).	Fornecer três abordagens de M&V: Abordagem para toda a instalação; Abordagem para instalação reformada; Simulação calibrada para toda a instalação.	EUA	A ASHRAE 14-2002 não é amplamente utilizada devido à sua natureza altamente técnica, não sendo prática para as atividades diárias de M&V.

<p><i>Clean Development Mechanism (CDM) Methodology: AMS-II.C e AMS-II.L</i></p>	<p>A metodologia AMS-II.C é aplicada em AEEs para tecnologias como lâmpadas, reatores, refrigeradores, motores, ventiladores, condicionadores de ar, sistemas de bombeamento e resfriadores (<i>chillers</i>). A metodologia AMS-II.L é voltada para AEEs em iluminação externa e iluminação pública.</p>	<p>Esses documentos fornecem instruções necessárias para desenvolver e implementar o plano de M&V de acordo com os critérios do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL, do inglês CDM), de modo a se qualificar para os certificados de redução de emissões.</p>	<p>Global</p>	<p>Essas diretrizes devem ser seguidas por proponentes que pretendem qualificar-se para certificados de redução de emissões no MDL.</p>
<p><i>A Best Practice Guide to Measurement and Verification of Energy Savings</i></p>	<p>O guia visa incentivar o desenvolvimento de projetos de eficiência energética na Austrália, com foco principal na economia de energia por meio de contratos de desempenho.</p>	<p>Semelhante ao PIMVP nas opções de M&V e utiliza as diretrizes da ASHRAE e FEMP para a avaliação de incertezas e de custos dos benefícios da M&V.</p>	<p>Austrália, Ásia Pacífico</p>	<p>Guia desenvolvido pela Associação Australiana de Contratos de Desempenho Energético (AEPCA) com o apoio do Programa de Acesso à Inovação (IAccP) em 2004.</p>
<p><i>Measurement & Verification Process for Calculating and Reporting on Energy and Demand Performance - General Guidance</i></p>	<p>O guia fornece ferramentas para desenvolver planos consistentes de M&V, específicos do projeto, juntamente com modelos e fluxogramas, guiando o usuário pelo processo.</p>	<p>O guia define três parâmetros padrão (ou seja, horas de operação, carga e eficiências do sistema) e apresenta quatro metodologias para obter esses parâmetros: estipulação, medição, inferência e simulação.</p>	<p>Global</p>	<p>Desenvolvido pelo <i>Energy Management Working Group (EMWG)</i> do <i>Clean Energy Ministerial</i>.</p>
<p><i>Energy Efficiency Services Measurement and Verification Guide (ClubS2E)</i></p>	<p>Este guia foi criado pelo <i>Energy Efficiency Services Club (CLUBS2E)</i> da França, com o objetivo de facilitar a adoção e implementação do PIMVP.</p>	<p>Este guia integra o amplo escopo do PIMVP em um contexto documental para fins de apresentação e assistência na implementação.</p>	<p>França</p>	<p>Apresenta informações relevantes de outras fontes (PIMVP) em formato simplificado para uso e fornece exemplos de planos de M&V</p>
<p><i>The California Evaluation Framework</i></p>	<p>Fornecer uma abordagem para planejar e conduzir avaliações dos programas de eficiência energética da Califórnia.</p>	<p>A estrutura detalha componentes necessários para executar a avaliação do programa, de modo que todos os programas possam documentar seus efeitos e compará-los com outros programas e opções de fornecimento.</p>	<p>Califórnia, EUA</p>	<p>A estrutura fornece uma abordagem sistemática para conduzir a avaliação.</p>

<i>California Energy Efficiency Evaluation Protocols: Technical, Methodological, and Reporting Requirements for Evaluation Professionals</i>	Ferramenta básica de orientação para os formuladores de políticas, a fim de planejar e estruturar os esforços de avaliação de programas de eficiência energética.	Inclui um protocolo separado para cada uma das categorias: Avaliação de impacto; Medição e verificação; Avaliação de processo; Avaliação de efeitos de mercado; Avaliação de programas de códigos e normas; Avaliação do programa de tecnologia emergente; Protocolo de amostragem e incerteza e protocolo de relato e Protocolo de vida útil eficaz.	Califórnia, EUA	O protocolo é usado por avaliadores de programas de eficiência energética e por formuladores de políticas, para planejar e estruturar os esforços de avaliação.
<i>National Energy Efficiency Evaluation, Measurement and Verification (EM&V) Standard: Scoping Study of Issues and Implementation Requirements</i>	Este documento apresenta um estudo sobre o escopo do desenvolvimento de padrões de EM&V em nível nacional.	O documento fornece um conjunto de definições aplicáveis a um padrão EM&V, com questões que precisam ser consideradas como parte do desenvolvimento de um padrão nacional de EM&V para Eficiência Energética.	EUA	O documento identifica quatro questões de alto nível associadas ao desenvolvimento de normas nacionais de EM&V e segue para nove categorias temáticas.
<i>Model Energy Efficiency Program Impact Evaluation Guide</i>	Auxiliar as agências reguladoras, empresas de serviços públicos e outros, na implementação do Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética e na busca de objetivos de longo prazo.	O guia descreve uma estrutura e várias abordagens de modelos para calcular a economia de energia, demanda e emissões a partir de programas de Eficiência Energética implementados.	EUA	O guia foi desenvolvido para auxiliar na implementação das cinco principais recomendações de política do Plano Nacional de Ação para Eficiência Energética.
<i>Evaluation and Monitoring for the EU Directive on Energy End-Use Efficiency and Energy Services</i>	A EMEEES assiste a Comissão Europeia no desenvolvimento de métodos para avaliar medidas implementadas para alcançar objetivos de economia de energia estabelecidos pela Diretiva de Serviços de Energia.	A EMEEES possui um método geral para as abordagens de cálculo <i>bottom-up</i> e <i>top-down</i> , além de diretrizes para garantir a consistência entre os resultados dos cálculos das duas abordagens.	Europa	Auxilia no desenvolvimento de métodos para avaliação de programas, serviços e medidas, bem como em esquemas para monitorar o impacto das medidas implementadas nos Estados membros.

Norma ISO 50001: 2018 - Sistema de Gestão de Energia	Desenvolvida para instalações industriais, comerciais e organizações, para a gestão de energia, instituindo uma estrutura e disciplina para implementar estratégias técnicas e gerenciais, para reduzir o consumo de energia e de emissões de GEE.	A norma trata do uso e consumo de energia; medição, documentação e relatório de uso e consumo de energia; práticas de projeto e aquisição de equipamentos, sistemas e processos que consomem energia; variáveis que afetam o desempenho energético e podem ser monitoradas.	Global	A ISO 50001 é uma norma internacional voluntária desenvolvida pela Organização Internacional para Padronização (ISO) para gerenciar e melhorar o desempenho energético.
EN 16001 - <i>Energy Management Standard</i>	A EN 16001 - Norma de Gestão de Energia, é uma norma europeia sobre gestão de energia similar à ISO 50001.	Fornecer uma abordagem sistemática para monitorar e reduzir o consumo de energia em todos os tipos de organizações.	Europa	A EN 16001 possui estrutura similar à ISO 14001 e pode ser facilmente integrada aos sistemas de gestão da qualidade, segurança e/ou meio ambiente.
<i>The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard</i>	O protocolo define padrões globais de como medir, gerenciar e relatar as emissões de GEE.	Estabelece normas e/ou orientações sobre princípios de contabilização e relatório de GEE.	Global	Útil como base para muitas normas e programas de GEE - Organização Internacional para Padronização (ISO) e Registro Climático (TCR).
<i>EU Emissions Trading System (EU ETS)</i>	O EU ETS é o primeiro e maior sistema internacional para o comércio de emissões de GEE. É um elemento crítico da política da União Europeia para combater as alterações climáticas e reduzir os custos das emissões de forma eficaz.	O sistema funciona sobre o princípio <i>cap-and-trade</i> . É estabelecido um limite a nível da UE sobre a quantidade total de emissões que podem ser emitidas pelas instalações abrangidas. No final de cada ano, cada empresa deve entregar licenças suficientes para cobrir todas as suas emissões, caso contrário, multas são impostas.	Europa	O sistema é um importante instrumento da política da UE para combater as mudanças climáticas, sendo a principal ferramenta para reduzir as emissões de gases de efeito estufa de maneira econômica
<i>White Certificate Scheme</i>	O esquema foi desenvolvido para promover a implementação da eficiência energética na indústria. É uma ferramenta de contabilidade e uma mercadoria negociável.	As obrigações para o <i>White Certificate Scheme</i> impõem metas de economia de energia às organizações. Se estas não forem cumpridas, as empresas estarão sujeitas a multas (mecanismo para lidar com falhas do mercado de eficiência energética).	Itália, França, Grã-Bretanha, Flandres, Dinamarca	<i>White Certificate Scheme</i> é um ativo negociável que prova que uma certa porcentagem de economia de energia foi alcançada em relação a uma linha de base.

Fonte: Adaptado de WORLD BANK (2017)

APÊNDICE B – RELAÇÃO DE PROJETOS DO PEE ANALISADOS

#	Código	Tipologia	Uso Final	Região
1	PE-0026-0001/2011	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	N
2	PE-0032-0006/2015	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	N
3	PE-0369-0006/2010	Baixa Renda	Refrigeração	N
4	PE-0369-0008/2012	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	N
5	PE-0370-0002/2010	Baixa Renda	Refrigeração	N
6	PE-0370-0003/2012	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	N
7	PE-0103-0003/2008	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	CO
8	PE-0404-0002/2008	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	CO
9	PE-0404-0003/2009	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	CO
10	PE-0404-0020/2010	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	CO
11	PE-0404-0025/2012	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	CO
12	PE-0404-0026/2012	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	CO
13	PE-0404-0041/2013	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	CO
14	PE-0404-0042/2013	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	CO
15	PE-0405-0016/2009	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	CO
16	PE-0405-0023/2011	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	CO
17	PE-5160-0002/2011	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	CO
18	PE-5160-1201/2012	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	CO
19	PE-0037-0005/2010	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
20	PE-0037-0007/2011	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
21	PE-0037-0008/2012	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
22	PE-0037-0012/2014	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
23	PE-0039-0008/2009	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
24	PE-0039-0023/2014	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
25	PE-0040-0001/2008	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
26	PE-0040-0007/2010	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
27	PE-0043-0022/2010	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
28	PE-0043-0043/2012	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
29	PE-0043-0048/2013	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
30	PE-0043-0050/2013	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
31	PE-0046-0005/2010	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
32	PE-0046-0007/2012	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
33	PE-0047-0081/2014	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
34	PE-0047-0084/2014	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
35	PE-6587-0002/2010	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
36	PE-6587-0012/2013	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
37	PE-6600-0003/2009	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
38	PE-6600-1101/2011	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	NE
39	PE-0051-1301/2013	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
40	PE-0051-1502/2015	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
41	PE-0072-0004/2008	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
42	PE-0380-0044/2012	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
43	PE-0380-0045/2014	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
44	PE-0381-0003/2009	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
45	PE-0381-0005/2011	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE

46	PE-0383-0080/2009	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
47	PE-0383-0088/2013	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
48	PE-0385-0006/2010	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
49	PE-0385-0014/2011	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
50	PE-0391-0036/2013	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
51	PE-4950-0048/2013	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
52	PE-5274-0309/2012	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
53	PE-5274-2014/2014	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
54	PE-5366-0103/2013	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
55	PE-5379-1707/2012	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
56	PE-5382-1213/2013	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
57	PE-6610-0113/2013	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
58	PE-6611-0001/2008	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
59	PE-6611-0003/2009	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
60	PE-6611-0004/2010	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
61	PE-6611-1101/2011	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	SE
62	PE-0082-0001/2010	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
63	PE-0082-0002/2013	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
64	PE-0086-0001/2010	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
65	PE-0088-2014/2014	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
66	PE-0397-0011/2010	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
67	PE-0401-0004/2014	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
68	PE-2866-0001/2008	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
69	PE-2904-0002/2010	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
70	PE-2904-0003/2012	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
71	PE-5364-0002/2015	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
72	PE-5365-0001/2009	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
73	PE-5368-0001/2009	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
74	PE-5371-0002/2014	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
75	PE-5371-0003/2016	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
76	PE-5707-0016/2009	Baixa Renda	Iluminação/Refrigeração	S
77	PE-0370-0001/2010	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	N
78	PE-0404-0004/2009	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	CO
79	PE-0404-0005/2009	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	CO
80	PE-0404-0008/2009	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	CO
81	PE-0404-0014/2010	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	CO
82	PE-0404-0017/2010	Poder Público	Condicionamento de Ar	CO
83	PE-0404-0062/2015	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	CO
84	PE-0037-0003/2009	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
85	PE-0037-0004/2009	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
86	PE-0038-0002/2011	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
87	PE-0039-0010/2010	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
88	PE-0040-0006/2009	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
89	PE-0040-0019/2014	Poder Público	Iluminação	NE
90	PE-0040-0020/2014	Poder Público	Condicionamento de Ar	NE
91	PE-0043-0012/2008	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
92	PE-0043-0026/2011	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
93	PE-0043-0030/2011	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
94	PE-0043-0059/2015	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
95	PE-0044-0004/2009	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE

96	PE-0044-0005/2009	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
97	PE-0044-0011/2011	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
98	PE-0047-0015/2008	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
99	PE-0047-0022/2010	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
100	PE-0047-0055/2011	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
101	PE-0047-0056/2010	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	NE
102	PE-6587-0010/2012	Poder Público	Iluminação	NE
103	PE-6600-1403/2014	Poder Público	Iluminação	NE
104	PE-0063-0011/2009	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	SE
105	PE-0063-0022/2009	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	SE
106	PE-0063-0083/2012	Poder Público	Condicionamento de Ar	SE
107	PE-0063-0093/2013	Poder Público	Condicionamento de Ar	SE
108	PE-0063-0096/2013	Poder Público	Iluminação	SE
109	PE-0070-0009/2014	Poder Público	Iluminação	SE
110	PE-0382-0012/2008	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	SE
111	PE-0382-0027/2010	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	SE
112	PE-0382-0029/2010	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	SE
113	PE-0382-0037/2011	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	SE
114	PE-0382-0047/2014	Poder Público	Condicionamento de Ar	SE
115	PE-0382-0051/2015	Poder Público	Condicionamento de Ar	SE
116	PE-0385-0011/2010	Poder Público	Iluminação	SE
117	PE-0385-0018/2011	Poder Público	Iluminação	SE
118	PE-0390-1002/2010	Poder Público	Condicionamento de Ar	SE
119	PE-0390-1013/2011	Poder Público	Condicionamento de Ar	SE
120	PE-0390-1014/2011	Poder Público	Iluminação	SE
121	PE-0390-1020/2011	Poder Público	Iluminação	SE
122	PE-0390-1021/2011	Poder Público	Iluminação	SE
123	PE-2937-0011/2009	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	SE
124	PE-2937-0045/2015	Poder Público	Condicionamento de Ar	SE
125	PE-6585-0013/2010	Poder Público	Iluminação	SE
126	PE-6585-0014/2010	Poder Público	Iluminação	SE
127	PE-6585-0028/2015	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	SE
128	PE-6611-1401/2014	Poder Público	Iluminação	SE
129	PE-6612-0010/2009	Poder Público	Iluminação	SE
130	PE-0087-0004/2013	Poder Público	Iluminação	S
131	PE-0087-0005/2014	Poder Público	Iluminação	S
132	PE-0087-0006/2014	Poder Público	Iluminação	S
133	PE-0396-0038/2009	Poder Público	Iluminação	S
134	PE-0396-0068/2012	Poder Público	Iluminação	S
135	PE-0397-0003/2008	Poder Público	Iluminação	S
136	PE-0397-0009/2009	Poder Público	Iluminação	S
137	PE-2866-0063/2011	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	S
138	PE-2866-0079/2011	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	S
139	PE-2866-0091/2012	Poder Público	Iluminação/Cond. de Ar	S
140	PE-5707-0020/2014	Poder Público	Iluminação	S
141	PE-5707-0021/2014	Poder Público	Iluminação	S
142	PE-0037-0002/2009	Serviços Públicos	Força Motriz	NE
143	PE-0038-0005/2011	Serviços Públicos	Força Motriz	NE
144	PE-0044-0008/2010	Serviços Públicos	Força Motriz	NE
145	PE-0047-0073/2013	Serviços Públicos	Força Motriz	NE

146	PE-0396-0077/2013	Serviços Públicos	Força Motriz	S
147	PE-0397-0005/2008	Serviços Públicos	Força Motriz	S
148	PE-0397-0012/2010	Serviços Públicos	Força Motriz	S
149	PE-0397-0017/2011	Serviços Públicos	Força Motriz	S
150	PE-0063-0060/2014	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
151	PE-0063-0085/2014	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
152	PE-0063-0087/2014	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
153	PE-0063-0088/2014	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
154	PE-0063-0089/2014	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
155	PE-0063-0092/2013	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
156	PE-0063-0094/2013	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
157	PE-0063-0105/2014	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
158	PE-0063-0002/2008	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
159	PE-0063-0003/2009	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
160	PE-0063-0007/2009	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
161	PE-0063-0026/2010	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
162	PE-2937-0025/2014	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
163	PE-0381-0002/2012	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
164	PE-0382-0002/2008	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
165	PE-0382-0003/2008	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
166	PE-0382-0004/2008	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
167	PE-0382-0025/2012	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
168	PE-0382-0026/2012	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
169	PE-0385-0007/2010	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
170	PE-0391-0033/2012	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
171	PE-2937-0004/2008	Serviços Públicos	Força Motriz	SE
172	PE-2937-0007/2009	Serviços Públicos	Força Motriz	SE