

EVO

EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION



Protocolo Internacional de Medição e Verificação De Performance

Conceitos e Opções para a Determinação
de Economias de Energia e de Água
Volume 1

Preparado pela Efficiency Valuation Organization
(Organização para a Avaliação de Eficiência)

www.evo-world.org

Abril 2007

EVO 10000 – 1:2007 (Br)

Protocolo Internacional de Medição e Verificação De Performance

Conceitos e Opções para a Determinação de
Economias de Energia e de Água
Volume 1

Preparado pela Efficiency Valuation Organization
(Organização para a Avaliação de Eficiência)
www.evo-world.org

Abril 2007

EVO 10000 – 1:2007 (Br)



A visão da EVO

Um mercado global que avalie corretamente a utilização eficaz dos recursos naturais e use opções de eficiência na sua utilização final como uma alternativa viável às opções de suprimento de energia

A missão da EVO

Desenvolver e promover a utilização de protocolos normalizados, métodos e ferramentas para quantificar e gerir os riscos da performance e benefícios associados às transações de negócios relacionadas com a eficiência energética nos usos finais da energia, energias renováveis e consumo eficiente de água.



Abril 2007

Caros Leitores,

O interesse pela eficiência energética, como uma estratégia de investimento segura ou como política pública necessária, nunca foi maior. Por isso, existe uma necessidade contínua de métodos de normalização para quantificar os resultados dos investimentos na eficiência energética. Como única organização mundial, que se dedica apenas a providenciar ferramentas para quantificar o resultado de projetos e programas de eficiência energética, a EVO tem o prazer de apresentar a Versão de 2007 do Volume 1 do PIMVP.

Baseando-se numa história de aperfeiçoamento contínuo e com a colaboração de uma grande variedade de profissionais de M&V de todo o mundo, o Volume 1 do PIMVP de 2007 reflete verdadeiramente a nossa missão na EVO – desenvolver e difundir ferramentas que quantifiquem os resultados da eficiência energética. Tendo em conta que o “produto” dos investimentos da eficiência energética (economia) não pode ser medido diretamente, esta não é uma tarefa fácil. E no entanto, nos últimos dez anos, as versões anteriores do PIMVP provaram ser eficazes na abordagem de pontos críticos que surgem em cada transação de eficiência energética. A estrutura flexível do PIMVP das opções de M&V permite aos profissionais conceber o plano certo de M&V para cada situação e trazer confiança àqueles que desejam obter os benefícios. Definições claras de terminologia e grande ênfase em métodos consistentes e transparentes são os preceitos centrais do PIMVP. Os pormenores podem diferir de projeto para projeto, mas as opções e métodos que encontrará nas páginas seguintes foram implementados com sucesso em milhares de projetos e programas em dezenas de países.

Espero que venham a beneficiar dos vários melhoramentos desta última versão. E, talvez mais importante ainda, espero que fiquem interessados em contribuir para a comunidade EVO. Ou apresentando um artigo, partilhando experiências no nosso fórum, aderindo a uma comissão de voluntários ou sendo assinantes, podem juntar-se a este grupo de profissionais verdadeiramente único que Demandam melhorar métodos para quantificar e avaliar os resultados das atividades da eficiência energética, para que esta possa florescer. De qualquer modo, encorajo todos os leitores a dar-nos a sua opinião acerca deste documento para que o possamos melhorar continuamente (enviar correio eletrónico para: ipmvprev@evo-world.org).

Por fim, em nome de toda a Direção, gostaria de agradecer a todos aqueles mencionados na seção de Agradecimentos e a muitos de vocês que contribuíram com sugestões e encorajamento ao longo do caminho.

Boa sorte para os seus projetos,

John Stephen Kromer
Presidente da Administração

AGRADECIMENTOS	8
ALTERAÇÕES NESTA EDIÇÃO	10
PREFÁCIO	12
Organização deste Documento	12
Efficiency Valuation Organization e PIMVP	13
Publicações atuais da EVO	13
História das edições anteriores.....	14
Formação e Certificação	14
Futuros Planos da EVO	14
CAPÍTULO 1 Introdução AO PIMVP	16
1.1 Objetivos e Âmbito do PIMVP	16
1.2 Vantagens da utilização do PIMVP	17
1.3 Relação do PIMVP com outras diretivas de M&V	17
1.4 Quem utiliza o PIMVP?	18
CAPÍTULO 2 Definição E OBJETIVOS DE M&V.....	25
2.1 Objetivos de M&V.....	25
CAPÍTULO 3 Princípios DE M&V.....	27
Chapítulo 4 ESTRUTURA E OPÇÕES DO PIMVP	28
4.1 Introdução.....	28
4.2 Terminologia da Energia, da Água e da Demanda.....	29
4.3 O Processo de Concepção da M&V e o Relatório de Informação	29
4.4 Limites de Medição	30
4.5 Seleção do Período de Medição	31
4.6 Bases para Ajustes	32
4.7 Visão Geral das Opções do PIMVP	36
4.8 Opções A & B: Medição Isolada das Medidas de Racionalização de Energia .	39
4.9 Opção C: Toda a instalação	47
4.10 Opção D: Simulação calibrada	50
4.11 Guia de Seleção de opções.....	55
CAPÍTULO 5 CONTEÚDO DO PLANO DE M&V.....	58

CAPÍTULO 6	Relatar a <i>M&V</i>	61
CAPÍTULO 7	AdESÃO AO PIMVP	62
CAPÍTULO 8	OutrAs Questões comuns de <i>M&V</i>	63
8.1	Aplicação dos preços da energia	63
8.2	Ajustes do período de referência (<i>não de rotina</i>)	64
8.3	O papel da incerteza (Precisão	65
8.4	Custo	66
8.5	Equilibrar a incerteza e o custo	68
8.6	Verificação por um verificador independente	69
8.7	Dados para o mercado de emissões	70
8.8	Condições de funcionamento mínimo	71
8.9	Dados climáticos.....	71
8.10	Padrões mínimos de energia	71
8.11	Questões relativas à medição.....	71
CAPÍTULO 9	DefiniÇÕES	76
CAPÍTULO 10	ReferÊNCIAS	80
10.1	Outros recursos	84
ANEXO A	EXEMPLOS	86
A-1	Introdução	86
A-2	Melhoria da eficiência de uma motobomba – Opção A	86
A-3	Eficiência da iluminação – Opção A	88
A-4	Gestão de fugas de ar comprimido – Opção B.....	93
A-5	Melhoria do conjunto turbina/gerador – Opção B.....	95
A-6	Melhoria da eficiência da caldeira – Opção A.....	96
A-7	Múltiplas <i>MREs</i> com dados de medições de <i>referência</i> – Opção C	98
A-8	Múltiplas <i>MREs</i> num edifício sem medidores de energia durante o <i>período de referência</i> – Opção D	102
A-9	Novo edifício concebido melhor do que as normas – Opção D	104
ANEXO B	INCERTEZA	107
B-1	Introdução	107
B-2	Modelagem.....	112
B-3	Amostragem.....	117
B-4	Medição	119

B-5	Combinação dos componentes de incerteza	121
B-6	Exemplo de uma análise de incerteza.....	124

AGRADECIMENTOS

Este documento é mantido principalmente pelos voluntários a seguir mencionados. A EVO agradece o seu trabalho de recepção de comentários desde a última edição, desenvolvimentos de alterações, redação da nova edição e reação a comentários externos acerca da nova redação. A EVO também agradece o auxílio de Betsy Wilkins, da Wilkins Communications, pelo trabalho de administração e coordenação das atividades de voluntariado. A EVO agradece o apoio e empenho demonstrados pelos patrões de todos os voluntários da EVO.

Conselho de Administração da EVO

John Stephen Kromer, Presidente (EUA) Teton Energy Partners
Pierre Langlois, Vice-Presidente (Canadá) Econoler International
Steven R. Schiller, Tesoureiro (EUA) Schiller Consulting Inc.
Larisa Dobriansky (EUA) Baker & Hostetler
Tom Dreessen (EUA) EPS Capital
Satish Kumar (EUA) Lawrence Berkeley National Laboratory
Eang Siew Lee (Singapura) National University of Singapore
Longhai Shen (China) Energy Management Company Association
Alain Streicher (EUA) International Resources Group

Comitê Técnico do PIMVP

John D. Cowan, Presidente (Canadá) Environmental Interface Limited
Lynn Coles (EUA) Virchow Krause & Company
Ellen Franconi (EUA) Architectural Energy Corporation
LJ Grobler (África do Sul) Northwest University
Maury Hepner (EUA) H2O Applied Technologies
David Jump (EUA) Quantum Energy Services & Technologies, Inc.
M. Sami Khawaja (EUA) Quantec LLC
Satish Kumar (EUA) Lawrence Berkeley National Laboratory
Paul Mathew (EUA) Lawrence Berkeley National Laboratory
Steve Meyers (EUA) Rational Energy Network
Fernando CS Milanez (Brasil) National Institute for Energy Efficiency (INEE)
Riyaz Papar (EUA) Hudson Technologies
Richard Ridge (EUA) Ridge & Associates
Yoshiaki Shibata (Japão) Jyukankyo Research Institute
Eric Thut (EUA) Chevron Energy Services
Phil Voss (EUA) National Renewable Energy Laboratory

Membros do PIMVP

Jeff Haberl (EUA) Texas Agricultural and Mechanical University
John Stephen Kromer (EUA) Teton Energy Partners
Steven R. Schiller (EUA) Schiller Consulting Inc.

Sub-Comitê de Revisão

David Jump, Presidente (EUA) Quantum Energy Services & Technologies, Inc.
John D. Cowan, Editor Técnico (Canadá) Environmental Interface Limited
L.J. Grobler (África do Sul) Northwest University
M. Sami Khawaja (EUA) Quantec LLC
Satish Kumar (EUA) Lawrence Berkeley National Laboratory
Mark Stetz (EUA) Nexant Inc.

Sub-Comitê dos Edifícios Verdes

Gord Shymko, Presidente (Canadá) G.F. Shymko & Associates Inc.
Ellen Franconi (EUA) Architectural Energy Corporation
Paul Matthew (EUA) Lawrence Berkeley National Laboratory
Eric Thut (EUA) Chevron Energy Services

A EVO também está grata aos seus muitos assinantes individuais por todo o mundo (em www.evo-world.org) e às empresas assinantes:

Principais

Pacific Gas and Electric Company
San Diego Gas & Electric Company
Southern California Edison

Sênior

Sacramento Municipal Utility District
The Energy Foundation

Associadas

Bonneville Power Administration
Conzerv Systems Pvt. Ltd
Nexant, Inc.
Quantec, LLC
Quantum Energy Services & Technologies, Inc.
SGS-CSTC Standards Technical Services Co., Ltd, China
Taiwan Green Productivity Foundation (TGPF)
U.S. Environmental Protection Agency (EPA)

A EVO também agradece o patrocínio inicial do United States Department of Energy (Ministério da Energia dos Estados Unidos da América) na preparação de edições anteriores e aos seguintes patrocinadores:

Bonneville Power Administration (EUA)
The Energy Foundation (EUA)
Federal Energy Management Program, Department of Energy (EUA)
General Services Administration (EUA)
New York State Energy Research and Development Authority (EUA)
Sacramento Municipal Utility District (EUA)
Southern California Gas (EUA)

ALTERAÇÕES NESTA EDIÇÃO

A presente edição sofreu numerosas alterações relativamente à edição do Volume I de 2002, como parte do esforço contínuo da EVO para refletir a melhor prática nos seus documentos. Estas alterações atualizaram de uma forma geral o documento, reestruturando-o e clarificando-o, acrescentando “Princípios de M&V,” definindo várias versões da equação de economia básica, reescrevendo exemplos e textos sobre incerteza, harmonizando este Volume com outros volumes do PIMVP. As alterações são enumeradas mais pormenorizadamente a seguir:

1. Acrescenta uma Definição de M&V (Capítulo 2)
2. Define os princípios fundamentais de uma boa M&V (Capítulo 3)
3. Adiciona uma orientação para o conteúdo dos relatórios de economia (Capítulo 6)
4. Acrescenta um quadro simples, que mostra como a economia é calculada (Capítulo 4.1)
5. Apresenta várias versões da equação 1 do capítulo 4, para simplificar os ajustes às condições do período após a modificação e (“pós retrofit”) para incluir a opção D.
6. Acrescenta um segundo método à parte I do Volume III, para calcular a economia na opção D (Capítulo 4.10.3)
7. Permite um teste à MRE de liga/desliga do método de energia renovável na parte II do Volume III (Capítulo 4.5.3)
8. Atualiza referências relativas a outros documentos chave como a Diretiva 14 da ASHRAE, da versão 2.2 do Guia M&V do *U.S Federal Energy Managment Program* e do programa do *United States Green Buildings Council’s Leadership in Energy Efficient Design*.
9. Clarifica as condições para as medições e estimativas na opção A, substituindo o termo de contrato “estipulação” por “estimativa.” Acrescenta um quadro de escolhas na opção A, acerca do que estimar versus exemplos de medidas para iluminação. (Capítulo 4.8.1).
10. Descreve o processo de planeamento de M&V como sendo paralelo ao processo de planeamento do reequipamento em vez de um ponto específico no tempo (Capítulo 4.3).
11. Simplifica os exemplos do Anexo A e acrescenta exemplos para mais MREs, incluindo projetos industriais. Mostra a aplicação de divisas estrangeiras à economia de energia/consumo. Fornece explicações detalhadas das razões para a escolha da arquitetura de M&V inerentes a cada exemplo. Remete o leitor para a página da web da EVO para o cálculo detalhado de dois exemplos.
12. Acrescenta explicações para a diferença entre “economia” e “custos a evitar” e refere as várias bases para o ajuste (Capítulo 4.6).
13. Clarifica a aplicação do documento a projetos de economia de água e energia (Capítulo 4.2), projetos industriais e construção de novos edifícios.
14. Salienta, através da utilização de itálico, cada termo definido na seção das definições mais pormenorizadas.
15. Muda o termo “ano-base” para “período de referência.”
16. Acrescenta uma seção acerca da seleção e duração do período de medição (Capítulo 4.5).
17. Amplia e melhora a discussão acerca da utilização da análise da incerteza no planeamento da M&V (Anexo B). Clarifica afirmações acerca de relatórios de economia estatisticamente significativos.
18. Remete para a Diretiva 14 da ASHRAE, onde são fornecidos mais pormenores acerca das simulações calibradas.
19. Substitui por completo os capítulos anteriores 1 e 2, retirando observações introdutórias sobre o financiamento de projetos de eficiência energética.
20. Indica onde encontrar informação que possa ser necessária a cada tipo de usuário do documento (Capítulo 1.4).

21. Substituição do termo “Período após o re-equipamento” por “pós-retrofit” para clarificar que um relatório de M&V continua pelo tempo que os usuários desejam e não para sempre.
22. Clarifica a distinção entre ajustes de rotina e ajustes não de rotina. Introduce o termo “fatores estáticos” para descrever os fatores que influenciam o consumo de energia, que não variam com regularidade de forma rotineira (Capítulo 8.2).
23. Acrescenta às especificações do Plano M&V uma atribuição de responsabilidades para monitoramento de fatores estáticos para permitir ajustes não de rotina (Capítulo 5).
24. Enumera separadamente as condições do Plano M&V que são especificamente opcionais. Também volta a organizar condições e elimina a condição, que especifica os dados que serão disponibilizados a um revisor independente (Capítulo 5).
25. A palavra “adesão” substitui qualquer utilização da palavra “compromisso”.
26. Acrescenta uma seção acerca dos limites de medição, para definir qual o domínio da medição de energia. Exige a análise dos fluxos de energia a medir e como tratar os ‘efeitos interativos’ (fugas) não medidos. Capítulo 4.4
27. Substitui o termo “edifício inteiro” por “instalação inteira”.
28. Acrescenta um diagrama lógico relativo à seleção de opções e um quadro com os melhores critérios de seleção de opções (Capítulo 4.11).
29. Simplifica a adesão de modo a que fique consistente com as especificações do Plano de M&V e acrescenta uma condição para anotar o número específico da versão PIMVP, que está a ser seguida em qualquer Plano de M&V (Capítulo 7).
30. Introduce uma seção comum acerca dos métodos de isolamento das Medidas de Racionalização de Energia, opções A e B (Capítulo 4.8).
31. Faz a distinção entre os procedimentos para lidar com dados em falta ou informação de má qualidade, no período de referência e no pós-retrofit.
32. Integra o antigo anexo C sobre medição no Capítulo 8 e passa muitas das discussões sobre medição do antigo Capítulo 5 para as partes relevantes do Capítulo 4. O antigo anexo C sobre medição desaparece.
33. Introduce um sistema de numeração de versão em conformidade com as normas internacionais, que permite uma fácil identificação das edições, revisões e errata.

A página web da EVO (www.evo-world.org) tem as mais recentes atualizações deste documento. Também tem uma lista de ligações web referenciadas, que a EVO tenta manter o mais atualizada possível, sem ter de publicar uma errata para cada alteração.

Organização deste Documento

O Volume I do Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (PIMVP) Volume I é um documento de apoio que descreve as práticas comuns de medição, cálculo e relatório de economia obtidos por projetos de eficiência energética ou consumo eficiente de água nas instalações do usuário final. O PIMVP apresenta uma estrutura e quatro opções de medição e verificação (M&V) para avaliar de forma transparente, segura e consistente o relatório de economia obtido por um projeto. As atividades de M&V incluem estudos no local, medição de energia ou de água, monitoramento de variáveis independentes, cálculos e apresentação de relatórios. Quando aderem às recomendações do PIMVP, estas atividades de M&V podem produzir relatórios de economia verificáveis.

O PIMVP destina-se aos profissionais para ser usado como base de preparação de relatórios de economia. Cada usuário deve estabelecer o seu próprio Plano de M&V específico, de modo a ir de encontro às características únicas do projeto. O PIMVP não é uma norma e por conseguinte não existe um mecanismo de conformidade formal para este documento. A adesão ao PIMVP requer a preparação para um projeto específico de um Plano M&V, que seja consistente com a terminologia do PIMVP. Deve nomear as opções do PIMVP a ser utilizadas, os métodos de medição e de análise a ser usados, os procedimentos de garantia de qualidade a ser seguidos e a(s) pessoa(s) responsável pela M&V.

Os Capítulos do Volume I do PIMVP encontram-se organizados da seguinte forma:

1. Introduce o PIMVP e a EVO. A seção 1.4 é um Guia do Usuário para ajudar diferentes tipos de leitores a compreender as várias formas de aplicação do documento.
2. Define M&V e enumera oito utilizações para as técnicas de M&V.
3. Indica quais os fundamentos da M&V ao definir os princípios inerentes a uma boa M&V. O balanço do documento resume vários métodos da indústria para implementar estes princípios fundamentais.
4. Define a estrutura do PIMVP e as suas quatro opções. Apresenta as metodologias e os ajustes básicos para a medição de energia ou água necessária para reportar a economia adequadamente. Os quadros 1 e 3, e a Figura 3 resumem as opções e oferecem orientação para a escolha da melhor opção para cada aplicação.
5. Enumera os tópicos que um Plano de M&V deve ter e dá conselhos acerca das decisões de concepção necessárias para tornar a atividade de M&V rentável para todos os usuários dos relatórios de economia.
6. Define meios para especificar a utilização do PIMVP e de reivindicar a sua adesão.
7. Apresenta informação chave que deve ser incluída em cada relatório de economia.
8. Enumera várias questões adicionais, que surgem frequentemente durante a concepção e relatório da M&V.
9. Apresenta a definição de todas as palavras que se encontram em itálico no documento.
10. Fornece uma lista de referência e outros recursos úteis.

O Anexo A oferece 12 exemplos de aplicações do PIMVP, com vários níveis de detalhe. Remete para a página web da EVO para exemplos detalhados de Planos e Relatórios de economia de M&V.

O anexo B resume as técnicas básicas de quantificação de incerteza para orientar as decisões acerca do nível de rigor adequado a cada processo de M&V.

Efficiency Valuation Organization e PIMVP

Este Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP) é patrocinado pela Efficiency Valuation Organization (EVO - Organização de Avaliação de Eficiência), uma sociedade privada sem fins lucrativos. A EVO visa um mercado global que avalia corretamente a utilização eficiente dos recursos naturais e da energia final como uma alternativa viável a novas formas de fornecimento de energia. A missão da EVO é desenvolver e promover métodos normalizados para quantificar e gerir os riscos e benefícios associados a transações de negócios relacionados com a eficiência energética, energias renováveis e consumo eficiente de água. A EVO é uma organização apoiada por assinantes em todo o mundo.

A EVO agradece a todos os seus voluntários que desenvolvem e mantêm os seus documentos. Os membros do nosso Conselho atual e das Comissões que participaram no desenvolvimento deste documento são referidos na seção de Agradecimentos, juntamente com assinantes empresariais.

A EVO mantém uma página web (www.evo-world.org) que contém:

- Uma seção de assinantes, com acesso prévio a alguns documentos da EVO, materiais de referência, boletins informativos, fóruns de discussão e ligações a outros recursos;
- As últimas edições dos documentos e edições arquivadas;
- Lista atual dos membros da comissão e dos assinantes;
- Convite a comentários acerca de documentos do PIMVP pelo endereço de correio eletrónico: ipmvprev@evo-world.org ;
- Informação acerca dos programas de formação e certificação da EVO;

Os documentos da EVO devem incluir métodos universais provenientes do mundo inteiro. Por esta razão, a EVO está a organizar grupos internacionais e regionais para documentar métodos internacionais de M&V. Para participar como voluntário ou assinante, visite A página da web da EVO, www.evo-world.org, para mais informações.

As atividades e os planos atuais da EVO encontram-se resumidos mais abaixo.

Publicações atuais da EVO

A EVO tem atualmente três publicações disponíveis na sua página da web:

Volume I do PIMVP Conceitos e opções para a Determinação da Economia de Energia e de Água

O Volume I define a terminologia e sugere boas práticas para documentar a eficácia dos projetos de eficiência energética e o consumo eficiente de água implantados em edifícios e instalações industriais. Estes termos e práticas ajudam os gestores a preparar Planos de M&V, que especificam como a economia irá ser medida em cada projeto. O Plano de M&V bem sucedido permite a verificação, ao exigir relatórios transparentes do desempenho energético atual do projeto.

Volume II do PIMVP Questões relativas à qualidade do ar interior

O Volume II revê questões de qualidade do ar interior que podem ser influenciadas por um projeto de eficiência energética. Salienta a necessidade da concepção de um bom projeto e de implementação de práticas para manter condições interiores aceitáveis num projeto de eficiência energética. Aconselha relativamente aos meios de medição dos parâmetros de qualidade do ar interior para comprovar se as condições interiores sofreram alterações relativamente às condições do período de referência quando se determinar a economia.

Volume III do PIMVP Aplicações

O Volume III contém manuais de orientação de aplicação específica para o Volume I. Os dois manuais de aplicação atuais dizem respeito à construção de novos edifícios (Parte I) e

integração de energias renováveis em instalações já existentes (Parte II). Este volume encontra-se em contínuo desenvolvimento porque cada vez mais aplicações específicas vão sendo definidas.

História das edições anteriores

A primeira edição do PIMVP, intitulada North American Energy Measurement and Verification Protocol (Protocolo Norte Americano de Medição e Verificação de Energia), foi publicada em Março de 1996. Foi modificada em Dezembro de 1997 e intitulada International Performance Measurement and Verification Protocol (Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético). As opções A e B foram substancialmente alteradas quando o PIMVP foi novamente publicado em 2001 e pequenas alterações editoriais foram acrescentadas numa edição de 2002. O Volume II acerca da qualidade do ar interior foi publicado em 2002. As comissões, patrocinadas pelo United States' Department of Energy (DOE) - Ministério da Energia dos Estados Unidos, escreveram e editaram estes documentos.

Em 2002, o IPMVP Inc. foi incorporado como sociedade independente sem fins lucrativos de modo a incluir a comunidade internacional e libertar o Ministério da Energia dos Estados Unidos das suas responsabilidades como organizador. O IPMVP Inc. angariou os seus próprios fundos, criou uma página na web e publicou o novo Volume III sobre Novas Construções e Energias Renováveis. Em 2004, o IPMVP Inc. foi renomeado Efficiency Valuation Organization uma vez que alargou a sua faixa.

Formação e Certificação

A EVO reconhece que o melhoramento da avaliação da eficiência energética no mundo não passa apenas pela publicação de documentos. Por isso a EVO e os seus parceiros mundiais introduziram programas de formação e sensibilização sobre medição e verificação. Estes programas formam profissionais em métodos e recentes desenvolvimentos em M&V.

A EVO também tem um programa profissional de certificação de medição e de verificação (Certified Measurement and Verification Professional - CVMP) para profissionais que sejam aprovados em um teste que demonstra o seu conhecimento do PIMVP e que tenham experiência e formação adequada. Os CMVPs devem ter as competências necessárias para desenvolver Planos de M&V e para gerir programas de M&V para aplicações simples. Para mais informações acerca do programa de CMVP e para a lista de nomes de CMVPs acreditados, visite www.evo-world.org.

Futuros Planos da EVO

Os assinantes e voluntários da EVO determinam os seus planos futuros para criar novos esforços educacionais e documentos acerca da avaliação da eficiência. A EVO convida os leitores do PIMVP a tornarem-se assinantes da EVO, a fornecer recomendações e a participar em novas atividades da EVO ou já existentes.

Algumas das novas atividades relacionadas com o desenvolvimento de protocolos em curso ou em estudo são:

- International Energy-Efficiency Financing Protocol (Protocolo Internacional para o Financiamento da Eficiência Energética)– fornece orientação para ajudar financeiros a compreender os projetos de eficiência energética.
- International Program-Evaluation Protocol (Protocolo Internacional de Avaliação de Programas)– fornece orientação aos que concebem programas regionais de gestão da Demanda acerca da medição e criação de relatórios dos resultados dos seus programas.
- Distributed-Generation Protocol (Protocolo sobre Geração Distribuída)– fornece aos operadores de sistemas elétricos orientação para determinar e reportar o impacto dos projetos de Produção Dispersa numa rede elétrica.

- Demand-Response Protocol (Protocolo de Resposta da Demanda)– fornece aos operadores de sistemas elétricos orientação para determinar e reportar o impacto dos programas de resposta ao consumo e programas de gestão de consumos numa rede elétrica.

À luz dos seus interesses internacionais, a EVO também se encontra no processo de:

- Desenvolver organizações afiliadas regionais ativas, que contribuam para o desenvolvimento e manutenção das publicações da EVO;
- Levar a cabo programas adicionais de formação e certificação por todo o mundo;
- Preparar os seus documentos mais recentes em várias línguas; e
- Encorajar a sua comunidade de assinantes baseada na internet a partilhar ideais sobre a avaliação da eficiência.

A EVO agradece as suas reações e sugestões. Envie, por favor, os seus comentários por correio eletrónico para ipmvprev@evo-world.org. Todos os comentários serão tidos em consideração, mesmo que a EVO não responda diretamente. A última versão inglesa e as traduções certificadas dos documentos da EVO estarão sempre disponíveis para descarregar em www.evo-world.org. A EVO planeja rever cada documento de cinco em cinco anos. Dê-nos a saber como os nossos serviços podem ser melhorados ou diversificados

1.1 Objetivos e Âmbito do PIMVP

A Efficiency Valuation Organization (EVO) publica o Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance (PIMVP) para aumentar os investimentos na eficiência energética e consumo eficiente de água, gestão do consumo e projetos de energia renovável em todo o mundo.

O PIMVP promove investimentos eficazes através das seguintes atividades.

- O PIMVP documenta termos comuns e métodos para avaliar o desempenho energético de projetos de eficiência para clientes, fornecedores e financeiros. Alguns destes termos e métodos podem ser utilizados em acordos de projetos, embora o PIMVP não disponibilize linguagem contratual.
- O PIMVP fornece métodos, com diferentes níveis de custo e exatidão, para determinar economias¹ para toda a instalação ou para medidas individuais de racionalização de energia (MRE)²;
- O PIMVP especifica o conteúdo de um Plano de Medição e Verificação (Plano de M&V). Este Plano de M&V adere aos princípios fundamentais de M&V aceites em todo o mundo e deve produzir relatórios de economia verificáveis. Deve ser desenvolvido um Plano de M&V para cada projeto por um profissional qualificado³.
- O PIMVP aplica-se a uma grande variedade de instalações, incluindo edifícios novos, edifícios já existentes e processos industriais. O capítulo 1.4, do manual do usuário, resume como leitores diferentes podem usar o PIMVP.

O Volume I do PIMVP define M&V no capítulo 2, apresenta princípios fundamentais de M&V no capítulo 3, e descreve uma estrutura para um Plano detalhado de M&V no capítulo 4. Os pormenores de um *Plano de M&V* e de um relatório de *economia* são enumerados nos capítulos 5 e 6, respectivamente. As condições de especificação de utilização do PIMVP ou de adesão ao PIMVP são apresentadas no capítulo 7. O Volume I também tem um resumo de questões comuns de conceção de M&V, capítulo 8, e enumera outros recursos de M&V. Doze exemplos de projetos são descritos no anexo A e métodos básicos de análise de incerteza são resumidos no anexo B.

O Volume II do PIMVP fornece uma abordagem exaustiva para a avaliação de aspectos relativos à qualidade do ar interior de edifícios relacionados com a concepção de MRE, implementação e manutenção. O Volume II sugere medições das condições interiores para identificar alterações relativamente às condições do período de referência.

O Volume III do PIMVP fornece mais pormenores acerca dos métodos de M&V associados à construção de novos edifícios e a sistemas de energia renovável integrados nas instalações existentes.

Os três volumes do PIMVP são um conjunto de documentos em constante evolução, com as últimas modificações feitas a cada edição disponíveis na página web da EVO (www.evo-world.org).

¹ As palavras em itálico têm o seu significado definido no capítulo 9.

² Embora haja alguma discussão acerca das diferenças entre os dois termos — medida de racionalização de energia (ME) e medida de eficiência energética (MEE) — o termo comum Medida de Racionalização de Energia MRE é definido de modo a incluir as ações de conservação e eficiência. Ver capítulo 8.

³ www.evo-world.org contém a lista dos profissionais certificados de M&V (CMVPs), pessoas com experiência adequada e que demonstraram o seu conhecimento sobre o IPMVP passando um exame.

1.2 Vantagens da utilização do PIMVP

A história do PIMVP remonta a 1995 e a sua utilização internacional traz as seguintes vantagens a programas que aderem às recomendações do PIMVP.

- Justificação dos pagamentos para o desempenho energético. Quando os pagamentos financeiros se baseiam em *economias* demonstradas de energia ou de água, a adesão ao PIMVP garante que as *economias* seguem boas práticas. Um *relatório de economia*, que adere ao PIMVP permite a um cliente, a um usuário de energia ou a uma concessionária, aceitar com prontidão o desempenho energético reportado. *Empresas de Serviços Energéticos (ESCOs)* cujas faturas são suportadas por um *relatório de economia*, que adere ao PIMVP, garante os pagamentos com maior facilidade.
- Redução dos custos de transação num *Contrato de Desempenho Energético*. As especificações do PIMVP como base para a concepção de *M&V* de um projeto podem simplificar as negociações para um *Contrato de Desempenho Energético*.
- Credibilidade internacional para *relatórios de economia* de energia, aumentando assim o valor para um comprador de *economia* de energia associada.
- Melhoramento da classificação do edifício sob o sistema de “Leadership in Energy Efficient Design” (LEED™) do United States Green Buildings Council e outros. Estes sistemas encorajam a concepção sustentável de novos edifícios e funcionamento em edifícios já existentes e encorajam os edifícios a ter um programa de *M&V*, que adere ao PIMVP. Para mais informações, consultar A página web do USGBC em www.usgbc.org.
- Ajudar organizações nacionais e industriais a promover e a obter o uso eficiente dos recursos e a alcançar os objetivos ambientais. O PIMVP poderá ser largamente adotado por agências governamentais nacionais e regionais e por organizações industriais para ajudar a gerir os seus programas e a aumentar a credibilidade dos resultados reportados.

1.3 Relação do PIMVP com outras diretivas de M&V

O capítulo 9 enumera outros recursos interessantes para os leitores do PIMVP. Quatro documentos em particular merecem destaque:

- ASHRAE, Guideline 14-2002 Measurement of Energy and Demand Savings (ver Referência 3 no Capítulo 10). Este documento da American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. fornece pormenores complementares ao PIMVP. A Diretiva 14 teve muitos dos autores originais do PIMVP. Apesar da Diretiva 14 fornecer detalhes técnicos seguindo muitos dos mesmos conceitos do PIMVP, não utiliza os mesmos nomes das Opções do PIMVP. A Diretiva 14 é um recurso útil para os profissionais de *M&V* e está disponível para aquisição através da livraria da ASHRAE em <http://resourcecenter.ashrae.org/store/ashrae/>.
- M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects, Version 2.2 - 2000 (ver Referência 27 no capítulo 10). O U.S. Department of Energy's Federal Energy Management Program (FEMP) foi estabelecido, em parte, para reduzir os custos de energia de instalações governamentais federais dos EUA em funcionamento. A Diretiva de *M&V* do FEMP foi publicada pela primeira vez em 1996 com muitos dos mesmos autores do PIMVP. Fornece orientação detalhada sobre métodos de *M&V* específicos para uma variedade de *MREs*. O guia do FEMP encontra-se na generalidade em conformidade com a estrutura do PIMVP, exceto que não requer medição no local do consumo de energia para duas *MREs* específicas. A página da web do Lawrence Berkeley National Laboratory (<http://ateam.lbl.gov/mv/>) contém a Diretiva de *M&V* do FEMP e um grande número de outros documentos de referência sobre *M&V*, incluindo um sobre os cálculos utilizados na opção A, e uma lista de controle de *M&V*.
- O Greenhouse Gas Protocol for Project Accounting (2005), desenvolvido conjuntamente pelo World Resources Institute e pelo World Business Council for Sustainable Development. O Comitê Técnico do IPMVP foi representada na comissão consultiva

para este documento, que define as formas de documentar o impacto dos gases de efeito de estufa dos projetos de redução da emissão de carbono e de sequestração de carbono. Ver www.ghgprotocol.org.

- O “U.S. State Of California’s Public Utilities Commission’s California Energy Efficiency Evaluation Protocols: Technical, Methodological, and Reporting Requirements for Evaluation Professionals” (Abril 2006). Este documento fornece orientação para programas de avaliação de eficiência implementados por uma concessionária. Mostra o papel do PIMVP para *M&V* de um local individual. O Protocolo pode ser encontrado na página web do California Measurement Advisory Council (CALMAC) em <http://www.calmac.org>.

1.4 Quem utiliza o PIMVP?

O PIMVP apresenta princípios e termos comuns que são largamente aceites como básicos a qualquer bom processo de *M&V*. Não define as atividades de *M&V* para todas as aplicações. Cada projeto deve ser concebido individualmente para ir de encontro à necessidades de todos os leitores de *relatórios de economia* de energia ou de água. Esta concepção individual é registrada no *Plano de M&V* do projeto e a economia é reportada como definida a esse respeito.

Este documento está escrito de modo a fornecer progressivamente melhores níveis de definição das práticas de *M&V* à medida que avança pelos capítulos como se resume mais abaixo.

- O capítulo 2 define *M&V* e descreve oito aplicações diferentes para as técnicas de *M&V*.
- O capítulo 3 apresenta seis princípios fundamentais para uma boa prática de *M&V* e do PIMVP. São úteis para orientar pormenores de concepção de *M&V*, onde o PIMVP não se manifesta.
- O Capítulo 4 apresenta a estrutura geral e as equações para o cálculo da *economia* necessárias para expressar adequadamente a *economia*. O Quadro 1 resume quatro opções de concepção de *M&V* e as seções 4.8 - 4.10 descrevem cada uma delas. A seção 4.11 oferece orientação e um diagrama lógico para selecionar a opção certa para qualquer aplicação. O anexo A dá exemplos de aplicações de métodos do PIMVP a 12 projetos típicos.
- O Capítulo 5 enumera os tópicos e os dados que devem ser incluídos num *Plano de M&V* e dá algumas sugestões acerca de aspectos chave que podem ser discutidos para cada tópico. Os leitores podem utilizá-lo como lista de controle para descrever a concepção da *M&V* para um projeto em particular.
- O Capítulo 6 enumera os tópicos e os dados que devem ser incluídos nos relatórios de *economia*.
- O Capítulo 7 mostra as condições necessárias para reivindicar a adesão ao PIMVP e sugere termos para especificar a utilização do PIMVP em contratos.
- O Capítulo 8 revê uma variedade de aspectos comuns de *M&V* que precisam de ser tidos em consideração em qualquer programa de *M&V*. Um aspecto chave que guia a concepção e funcionamento de um sistema de *M&V* são a necessidade de conciliar uma precisão razoável e um custo aceitável. Cada usuário deve encontrar o seu próprio equilíbrio entre a precisão e o custo. A seção 8.5 foca em particular os fatores envolvidos neste compromisso. O anexo B fornece uma visão geral de alguns métodos de incerteza e de estatística, mas esta visão geral não é um texto completo acerca do assunto. Aconselha-se aos usuários Demandar ajuda de concepção estatística adequada para qualquer normalização de dados de um programa de *M&V*, amostragem ou técnicas de avaliação de incerteza que poderão vir a usar. O capítulo 8 também apresenta aspectos de concepção relativos à medição para programas de *M&V*, embora não seja um texto completo sobre medição.

- O capítulo 9 contém definições de termos chave utilizados neste documento. Os termos estão em itálico ao longo do documento para indicar que têm os significados especiais dados no capítulo 9.
- O capítulo 10 enumera as leituras, referências e outras fontes de material útil.

Embora a aplicação do PIMVP seja única para cada projeto, certos tipos de usuários terão métodos similares nos seus *Planos de M&V* e respectiva implementação. As seções 1.4.1 à 1.4.10 mostram algumas das formas chave através das quais este documento pode ser usado pelos seguintes grupos de usuários:

- Promotores de contratos de desempenho energético e os seus clientes do setor imobiliário
- Promotores de contratos de desempenho energético e os seus clientes de processos industriais
- Consumidores de energia a fazer a sua própria racionalização e querendo contabilizar a *economia*
- Gestores de instalações contabilizando adequadamente a variação dos orçamentos energéticos
- Técnicos de concepção de novos edifícios
- Técnicos de concepção à Demanda da certificação 'LEED'
- Gestores de edifícios existentes à Demanda de certificação 'LEED-Existing Building' (LEED para edifícios já existentes)
- Técnicos e gestores de programas de Gestão da Demanda
- Promotores de projetos de consumo eficiente de água
- Técnicos de concepção do mercado de redução de emissões

Financiadores e compradores de créditos de emissão de qualquer uma das aplicações mencionadas acima irão encontrar formas chave de utilizar este documento sob estes cabeçalhos.

Este capítulo utiliza termos explicados em capítulos posteriores como indicado entre parênteses, ou definidos no Capítulo 9 para as palavras escritas em itálico.

1.4.1 Promotores de contratos de desempenho energético e os seus clientes do setor imobiliário

O objetivo principal de *M&V* no contexto dos *contratos de desempenho energético* no setor imobiliário é o de apresentar o desempenho monetário real de um projeto de reabilitação. O *Plano M&V* torna-se parte dos termos do *contrato de desempenho energético* e define as medições e cálculos para determinar pagamentos ou demonstrar conformidade com um nível de desempenho garantido.

Os custos de *M&V* podem ser definidos de acordo com as responsabilidades de todas as partes do contrato. Onde alguns parâmetros podem ser calculados com precisão suficiente para todas as partes, a opção A (seção 4.8.1) pode ser mais econômica. Por exemplo, a um promotor do contrato que se encarregue do melhoramento da eficiência de uma central CHILLER pode-lhe ser pedido para demonstrar a eficiência do chiller antes e depois do reequipamento sem considerar o consumo atual de energia da refrigeração que não é da responsabilidade do promotor do contrato. No entanto, se o promotor do contrato concordar em reduzir o consumo de energia da central CHILLER, será necessária a comparação entre o consumo de energia da instalação antes e depois. Neste último caso, a opção B (Chapter 4.8.2) seria utilizada se fossem usados os medidores da central CHILLER, ou a opção C (seção 4.9) se os medidores de toda a *instalação* forem utilizados para medir o desempenho energético global do edifício.

No caso dos *contratos de desempenho energético* se centrarem no desempenho global da instalação, ou onde é difícil avaliar os efeitos ou existem várias *MREs*, será usada a opção C. Deve-se ter o cuidado de garantir que o *Plano de M&V* (Capítulo 5) enumera os *fatores*

estáticos do período de referência e atribuem a responsabilidade da sua monitoramento durante o *pós-retrofit*. No entanto, para as novas construções, será utilizada a opção D (seção 4.10 ou Volume III Parte I do PIMVP). No caso de existir um medidor central num grupo de vários edifícios e os medidores individuais dos edifícios ainda não estarem instalados, a opção D (seção 4.10) pode ser usada, para que a ação corretiva não tenha de ser atrasada para se obter novos dados do *período de referência* de um submedidor durante um ano, antes de planejar a medida de racionalização de energia.

As medições deverão ser feitas ao longo da duração do *contrato de desempenho energético* ou durante um período de teste definido por contrato logo após a implementação da(s) medida(s) de racionalização de energia. Quanto maior for o *pós-retrofit* (seção 4.5.2), ou o *limite de medição* alargado (seção 4.4), mais se deve prestar atenção à possibilidade de uma alteração do *período de referência* após a implementação da ação corretiva. Esta possibilidade requer um bom registro anterior dos *fatores estáticos* no *Plano de M&V* e uma monitoramento minuciosa das condições após a implementação da(s) medida(s) de racionalização de energia (seção 8.2).

A complexidade de concepção dos medidores e dos cálculos dos sistemas de *M&V* (seções 4.8.3 e 8.11) devem ter também em consideração os custos de *M&V*, a amplitude da *economia* esperada, a análise econômica do projeto e a precisão desejada ao reportar (seções 8.3 - 8.5 e anexo B).

Os preços utilizados para valorizar monetariamente as unidades economizadas de Demanda e de consumo de energia ou água devem ser os estabelecidos no contrato (seção 8.1).

Quando um consumidor de energia sente que não tem a capacidade de rever um *Plano de M&V* ou um relatório de *economia*, pode contratar um verificador, que nada tenha a ver com o *promotor de contratos de desempenho energético* (seção 8.6).

O anexo A contém exemplos de aplicações do PIMVP a edifícios (seções A-7, A-8, A-9, enquanto que as seções A-2, A-3 e A-6 estão relacionadas com as tecnologias encontradas na maioria dos edifícios).

1.4.2 Promotores de contratos de desempenho energético e os seus clientes de processos industriais

O objetivo principal de *M&V* para *contratos industriais de desempenho energético* é habitualmente o de demonstrar o desempenho energético a curto prazo de um projeto de implementação de medidas de racionalização de energia. No seguimento de tal demonstração a gestão da fábrica assume a responsabilidade do funcionamento e habitualmente não Demanda uma relação contínua com uma ESCO (empresa de serviços energéticos). O *Plano M&V* torna-se parte dos termos do *contrato de desempenho energético* e define as medidas e os cálculos para determinar os pagamentos ou demonstrar conformidade com qualquer nível de desempenho garantido.

Os processos industriais implicam frequentemente relações mais complexas entre o consumo de energia e uma ampla gama de variáveis energéticas, em relação ao que acontece nos edifícios. Para além do clima, parâmetros tais como o tipo do produto, variações da matéria-prima, taxa de produção e programação dos turnos devem ser tidos em consideração. Deve-se ser cuidadoso na Seleção das *variáveis independentes* a ser utilizadas (anexo B-2.1). A análise torna-se muito difícil se se tentar identificar a economia nos medidores principais de *energia* da instalação, especialmente se existe mais do que um tipo de produto a ser produzido na fábrica.

As opções de isolamento das medidas de racionalização de energia (seção 4.8) ajudam a minimizar as complicações ligadas às variáveis de produção, que habitualmente não estão relacionadas com os termos do contrato de desempenho energético. A medição isolada da ação corretiva reduz o *limite de medição* a apenas aqueles sistemas cujo desempenho *energético* pode ser facilmente comparado às variáveis de produção. A instalação de medidores de isolamento para a *M&V* pode também fornecer informações úteis para o controle do processo.

Os custos de *M&V* podem ser controlados, considerando as responsabilidades de todas as partes do *contrato de desempenho energético*. Quando alguns parâmetros podem ser calculados com exatidão suficiente para todas as partes, a opção A (seção 4.8.1) pode ser a mais econômica. Por exemplo, um promotor de contratos que aceita aumentar a eficiência de uma caldeira pode demonstrar a mudança no consumo de energia da caldeira durante a carga máxima após a instalação de um dispositivo de recuperação de calor dos gases de combustão. Ele não é responsável pelo consumo contínuo de energia da caldeira, que é regido pelos parâmetros de produção que fogem ao seu controle. No entanto, se em vez disso o promotor de contratos aceitar reduzir o consumo de energia da caldeira, o consumo de energia da caldeira alterada é comparado com as necessidades energéticas previstas para a caldeira original durante um certo período de tempo. Neste último caso a opção B (seção 4.8.2) rege o acordo se um medidor medir o consumo de combustível da caldeira. A opção C (seção 4.9) rege o acordo se os medidores principais da fábrica ou os submedidores departamentais medirem o desempenho energético total da fábrica ou de um departamento dentro da fábrica.

Deve-se ter em atenção, quando se utilizam técnicas de medição isoladas de ações corretivas, em considerar todos os fluxos de energia afetados pelas *MREs* (seção 4.4), incluindo *efeitos interativos*. Os *contratos de desempenho energético* em fábricas industriais requerem frequentemente medições para um curto *pós-retrofit* após a implementação da ação corretiva. *Períodos de Relatório* mais longos (seção 4.5.2), ou *limites de medição* mais amplos (seção 4.4), necessitam de mais atenção para uma possível mudança do *período de referência* após a ação corretiva. Um bom registro anterior dos *fatores estáticos* no *Plano de M&V* (Capítulo 5) e a monitoramento cuidadosa das condições após a ação corretiva (seção 8.2) ajudam a identificar a mudança do *Período de referência*.

Os gestores das fábricas empregariam normalmente a monitoramento a longo prazo do consumo de energia para minimizar continuamente as perdas de energia. Os *promotores de contratos de desempenho energético* concentram-se, em vez disso, na monitoramento a curto prazo para demonstrar o seu desempenho energético (seção 4.5.2).

Para as ações corretivas implementadas que podem ser facilmente desligadas temporariamente, tal como um recuperador de calor, testes sequenciais a curto prazo, que utilizam a técnica de teste em liga/desliga (seção 4.5.3), podem demonstrar o desempenho energético.

A complexidade da concepção dos medidores do sistema de *M&V* (seções 4.8.3 e 8.12) e os cálculos devem ter também em consideração os custos de *M&V*, a magnitude da *economia* esperada, a análise econômica do projeto e a precisão desejada ao reportar (seções 8.3 - 8.5 e anexo B).

Os preços usados para avaliar a *economia* devem ser os estabelecidos no *contrato de desempenho energético* (seção 8.1).

O consumidor de *energia* pode contratar um verificador, que nada tenha a ver com o *promotor de contratos de desempenho energético* (seção 8.6) quando ele ou ela não tem a capacidade para rever um *Plano de M&V* ou um relatório de *economia*.

O anexo A contém exemplos de aplicações industriais do PIMVP (seções A-4, A-5, enquanto que as seções A-2, A-3.1 e A-6 estão relacionadas com as tecnologias encontradas na maioria das instalações industriais).

1.4.3 Consumidores de energia industriais e de edifícios a fazer a sua própria racionalização

Os consumidores de *energia* muitas vezes efetuam eles próprios as *MREs*. Quando estão confiantes de conseguir alcançar a *economia* planejada, uma abordagem de 'não *M&V*' deixa o orçamento todo para a implementação das *MREs*. No entanto, os consumidores de energia podem necessitar de justificar investimentos, acrescentar credibilidade a pedidos de futuros investimentos ou quantificar um desempenho energético incerto.

Os aspectos de concepção de *M&V* seriam similares aos descritos nas seções 1.4.1. ou 1.4.2, mencionadas acima, exceto que não há divisão de responsabilidade entre um consumidor de *energia* e um *promotor de contratos de desempenho energético*. Reportar custos pode ser menor devido a um reportar menos formal.

1.4.4 Gestores de instalações prestando contas por variações de orçamento de energia/água

Para gerir com sucesso os custos de *energia*, um gestor de *instalações* deve compreender a relação entre o consumo de *energia* e os parâmetros de funcionamento das *instalações*. Os parâmetros de funcionamento mais importantes incluem a ocupação, a taxa de produção e o clima. Se um gestor de instalação negligenciar estas *variáveis independentes*, ele ou ela podem ter dificuldades em explicar as *variáveis* dos orçamentos *energéticos* previstos. Ele/ela também arrisca futuros erros orçamentais. Os *ajustes do período de referência* também são necessários para justificar alterações não periódicas nas *instalações*.

Mesmo se não estiver planejada nenhuma *economia*, as técnicas de cálculo do capítulo 4 podem ajudar a explicar as *variáveis* do orçamento *energético*. Por conseguinte, os *Planos de M&V* (Capítulo 5) são úteis com ou sem implementação de MREs. Métodos para toda a instalação, opção C (seção 4.9), podem ser utilizados, baseados em medidores principais ou submedidores das seções principais da instalação. Se os submedidores estão colocados em peças específicas de equipamento (seção 4.8) podem ajudar a atribuir os custos aos departamentos usuáries ou aos locatários dentro da *instalação* (utilizando as abordagens da opção A ou B).

Os componentes críticos às variações do orçamento *energético* global podem ser isolados para uma medição separada ou do seu consumo de *energia* (opção B, seção 4.8.2) ou de um parâmetro chave de consumo de *energia* (opção A, seção 4.8.1). Ambos os casos exigem uma medição a longo prazo. Deve-se prestar muita atenção ao custo de manutenção e calibração dos medidores e de gestão de dados recebidos dos medidores (ver seções 4.8.3 e 8.12).

1.4.5 Técnicos de concepção de novos edifícios

Os investidores dos novos edifícios desejam frequentemente comparar o seu desempenho energético ao desempenho que teria sido se eles não tivessem incluído algumas características de eficiência *energética* na concepção. A ausência de dados reais do *período de referência* normalmente implica a utilização da opção D (seção 4.10) para desenvolver um *período de referência*. As competências de simulação em computador necessárias para aplicar corretamente a opção D podem encontrar-se normalmente na equipa de concepção no momento da concepção. Contudo o elemento crítico da opção D é a calibração da simulação em relação aos dados recolhidos após o período de um ano. Por conseguinte, é importante ter a certeza de que as competências de simulação permanecem disponíveis até a calibração ser realizada.

Após o primeiro ano de funcionamento regular seria normal utilizar os verdadeiros dados de *energia* do primeiro ano regular como novo *período de referência*, passando a utilizar a opção C (seção 4.9) para determinar alterações em relação ao novo *período de referência* do primeiro ano.

Todos os desafios para os novos edifícios são tratados mais aprofundadamente na Parte I do Volume III do PIMVP, *Novas Construções*, incluindo diferentes métodos para situações especiais.

1.4.6 Técnicos de concepção de novos edifícios à Demanda da certificação ‘LEED’

Os técnicos de concepção de edifícios podem Demandar ter os seus edifícios certificados pelo programa “Leadership in Energy Efficient Design” (LEED) do United States Green Building Council e outros. Para se qualificar para o crédito de *M&V* dentro do sistema de classificação, o edifício deve ter um sistema de *M&V* que adira ao PIMVP. A adesão ao

PIMVP é definida no capítulo 6 como preparação de um *Plano de M&V* (capítulo 5) usando a terminologia do PIMVP e seguindo depois o *Plano de M&V*.

O técnico de concepção deverá seguir igualmente as recomendações da seção 1.4.5 referidas acima e a Parte I do Volume III do PIMVP.

1.4.7 Gestores de edifícios existentes à Demanda de certificação ‘LEED-Existing Building’ (LEED para edifícios já existentes)

Os gestores de edifícios já existentes podem pretender ter o seu edifício certificado pelo programa “Leadership in Energy Efficient Design” (LEED) do United States Green Building Council e outros. Para se qualificar para o crédito Energia & Atmosfera dentro do sistema de classificação LEED, o edifício deve ter um sistema de *M&V* que adira ao PIMVP. A adesão ao PIMVP é definida no capítulo 7 como preparação de um *Plano M&V* (capítulo 5) usando a terminologia do PIMVP e seguindo depois o *Plano de M&V*. O tipo de *M&V* isolada da MRE do PIMVP (seção 4.8) ajudaria a obter o crédito LEED de medição melhorada baseando-se no número de submedidores instalados.

A opção C (seção 4.9) forneceria a monitoramento do desempenho energético total da instalação, adequada aos edifícios existentes. No entanto, se não existirem medidores para todo o edifício antes do pedido de certificação, a opção D (seção 4.10) será necessária durante o período de desenvolvimento de um *período de referência* para um ano depois dos medidores principais terem sido inicialmente instalados no edifício.

Os gestores de edifícios deverão também seguir as orientações mencionadas acima na seção 1.4.3.

1.4.8 Técnicos de concepção e gestores de programas regionais de eficiência

Os técnicos de concepção e gestores de programas de gestão da Demanda de energia a nível regional ou de empresas do setor energético necessitam habitualmente de desenvolver formas rigorosas de avaliação da eficácia dos seus programas de eficiência energética. Uma forma de avaliar o impacto de um programa de gestão da Demanda energética é avaliar a *economia* obtida em *instalações* de usuáries finais escolhidas de forma aleatória. Estes dados podem ser usados para projetar os resultados por todo o grupo dos participantes do programa de gestão da Demanda energética. Deve-se utilizar as opções do PIMVP apresentadas no capítulo 4 para avaliar a *economia* nas *instalações* que serviram de amostra.

A concepção da avaliação para qualquer programa regional deve especificar quais das opções do PIMVP são permitidas. Também deve especificar o número mínimo de amostras necessário, a medição e as precisões analíticas, de modo a dar o rigor necessário ao reportar do programa.

As empresas do setor energético já têm os dados de toda a instalação para sua comodidade nas suas bases de dados, por isso podem aplicar a opção C (seção 4.9) em todos os participantes do programa ou numa amostra deles. No entanto, sem conhecimentos adequados das alterações em cada instalação, deve-se esperar uma grande percentagem de variações na *economia*, especialmente à medida em que o tempo passa, entre o *período de referência* e os *períodos de Relatório*.

A EVO está a monitorar as necessidades de avaliação dos programas da comunidade das empresas do setor energético. A EVO está a considerar o desenvolvimento de orientações especiais de *M&V* para avaliar programas de gestão da Demanda energética e estabelecer bases de referência para medir a ‘resposta à Demanda’ dos clientes que recebem os preços das empresas do setor energético ou sinais de redução (ver Prefácio – Futuros Planos da EVO).

1.4.9 Promotores de projetos de consumo eficiente de água

A *M&V* do consumo eficiente de água é idêntica à *M&V* da eficiência energética, por isso utiliza técnicas de *M&V* similares. A técnica relevante para qualquer projeto depende da

natureza da alteração a ser avaliada e da situação do usuário, como referido nas seções 1.4.1 a 1.4.5 e 1.4.8.

O equipamento de consumo de água está frequentemente sob o controle dos usuários da instalação (ocupantes do edifício ou gestores de produção). Por conseguinte, pode ser difícil monitorar o comportamento dos usuários como seria necessário para fazer ajustes ao consumo de água de toda a instalação para a aplicação dos métodos da opção C. Os métodos de medição isolada das MRE são frequentemente aplicados (seção 4.8), usando uma amostra das MREs (anexo B-3) para demonstrar o desempenho energético de todo um grupo de alterações.

Quando o consumo de água exterior está a ser avaliado, o termo dos ajustes na equação 1 do PIMVP (capítulo 4) pode estar relacionado com parâmetros que influenciam o consumo de água, tal como a água das chuvas.

Dispositivos de medição do fluxo líquido (ver seção 8.11, quadro 5) são os mais frequentemente utilizados na *M&V* para projetos de consumo eficiente de água.

1.4.10 Esquemas de mercado de emissões

Os programas de eficiência energética podem ser fundamentais para ajudar muitos consumidores de energia a ir de encontro às suas alocações de emissão regulamentares. Todas as técnicas deste documento ajudam os consumidores de energia a gerir o seu consumo de energia, através de uma contabilidade adequada (seções 1.4.3 e 1.4.4).

Os projetos de eficiência energética também podem ser a base de comércio de produtos financeiros associados às reduções de emissão (créditos, compensações, reservas, etc). Uma vez que tais mercados devem manter-se sob o escrutínio público, a conformidade com um protocolo reconhecido pela indústria dá credibilidade a declarações de redução de emissão.

Os técnicos de concepção de esquemas de mercado devem especificar a conformidade com a edição de 2002, ou posterior, do PIMVP. Podem ainda ir mais longe e requerer abordagens de *economia* energética completamente medidas (isto é, opções B ou C, seções 4.8.2 ou 4.9). Esta especificação adicional reduz a incerteza na quantificação, ao eliminar as opções usando valores calculados ou simulados em vez de valores medidos.

A seção 8.7 aborda aspectos específicos da concepção de *M&V* para os mercados de emissões.

CAPÍTULO 2 DEFINIÇÃO E OBJETIVOS DE *M&V*

A “*Medição e Verificação*” (*M&V*) é o processo de utilização de medidas para determinar de modo seguro a *economia*⁴ real criada dentro de uma instalação individual por um programa de gestão de energia. A *economia* não pode ser medida diretamente, uma vez que representa a ausência de consumo de *energia*. Por sua vez, a *economia* é determinada comparando o consumo medido antes e depois da implementação de um projeto, fazendo ajustes adequados tendo em conta alterações nas condições.

As atividades de *M&V* consistem em algumas ou em todas as seguintes ações:

- Instalação, calibração e manutenção de medidores,
- Obtenção e tratamento de dados,
- Desenvolvimento de um método de cálculo e estimativas aceitáveis,
- Cálculos com dados medidos, e
- reportar, garantia de qualidade e verificação de relatórios por terceiros

Quando existem poucas dúvidas acerca do resultado de um projeto, ou não existe necessidade de dar prova dos resultados a uma outra parte, a *M&V* pode não ser necessária. No entanto, é sempre aconselhável verificar se o equipamento instalado é capaz de produzir a *economia* prevista. A verificação do potencial para obter *economia* implica a inspeção e a manutenção regular do equipamento. Todavia, tal verificação do potencial em gerar *economia* não deve ser confundida com a *M&V*. A verificação do potencial em gerar *economia* não adere ao PIMVP uma vez que não é necessária uma medição de *energia* no local.

2.1 Objetivos de *M&V*

As técnicas de *M&V* podem ser utilizadas pelos proprietários da instalação ou pelos investidores do projeto de eficiência *energética* para alcançar os seguintes objetivos:

a) Aumentar a *economia de energia*

A determinação exata da *economia de energia* fornece aos proprietários e gestores da instalação informação valiosa acerca das suas *medidas de racionalização de energia* (*MREs*). Esta informação ajuda-os a ajustar a concepção da *MRE* ou as operações para melhorar a *economia*, assegurar uma maior duração de *economia* ao longo do tempo e menos variações na *economia* (Kats et al. 1997 e 1999, Haberl et al. 1996).

b) Documentar transações financeiras

Para alguns projetos, a *economia* da eficiência energética é a base de pagamentos financeiros baseados no desempenho energético e/ou a garantia num contrato de desempenho energético. Um *Plano de M&V* bem definido e implementado pode ser a base para documentar o desempenho energético de forma transparente e sujeito a uma verificação independente.

c) Aumentar o financiamento para projetos de eficiência

Um bom *Plano de M&V* aumenta a transparência e credibilidade dos relatórios acerca dos resultados dos investimentos de eficiência. Também aumenta a credibilidade das projecções dos resultados dos investimentos de eficiência. Esta credibilidade pode aumentar a confiança que os investidores e os patrocinadores têm em projetos de eficiência *energética*, aumentando as suas possibilidades de ser financiados.

d) Melhorar projetos de engenharia, funcionamento e manutenção da instalação

⁴ As palavras em itálico têm o seu significado definido no capítulo 9.

A preparação de um bom *Plano de M&V* encoraja a concepção completa de um projeto ao incluir todos os custos de *M&V* nos aspectos econômicos do projeto. Uma boa *M&V* também ajuda os gestores a descobrir e reduzir problemas de manutenção e funcionamento, de modo a poderem gerir instalações de forma mais eficiente. Uma boa *M&V* também fornece informações para a concepção de projetos futuros.

e) Gerir orçamentos energéticos

Mesmo quando a *economia* não está planejada, as técnicas de *M&V* ajudam os gestores a avaliar e gerir a utilização de *energia* para explicar as variações dos orçamentos. As técnicas de *M&V* são usadas para ajustar alterações das condições de funcionamento da instalação para estabelecer orçamentos adequados e explicar as variações dos orçamentos.

f) Aumentar o valor dos créditos de redução de emissão

Explicar as reduções de emissão acrescenta um valor adicional aos projetos de eficiência. A utilização de um *Plano de M&V* para determinar a *economia* de energia melhora relatórios de redução de emissão em comparação com relatórios feitos sem *Plano de M&V*.

g) Apoiar a avaliação de programas de eficiência regionais

Serviços ou programas governamentais para a gestão de utilização de um sistema de fornecimento de *energia* podem utilizar técnicas de *M&V* para avaliar a economia em instalações selecionadas de usuárieos de *energia*. Usando técnicas estatísticas e outras suposições, a *economia* determinada pelas atividades de *M&V* em instalações individuais selecionadas pode ajudar a prever a economia em locais não medidos de modo a reportar o desempenho energético de todo o programa.

h) Aumentar a compreensão do público acerca da gestão de energia enquanto ferramenta de política pública

Ao melhorar a credibilidade dos projetos de gestão de energia, a *M&V* aumenta a aceitação pública da redução de emissões associadas. Tal aceitação pública encoraja o investimento em projetos de eficiência energética ou nos créditos de emissão que possam criar. Ao aumentar a *economia*, uma boa prática de *M&V* evidencia os benefícios públicos fornecidos por uma boa gestão de *energia*, tal como o melhoramento da saúde pública, redução da degradação ambiental e aumento da taxa de emprego.

Os princípios fundamentais de uma boa prática de *M&V*⁵ são descritos mais abaixo, por ordem alfabética.

Completo Ao reportar a *economia de energia* deve-se ter em consideração todos os efeitos de um projeto. As atividades de *M&V* devem usar medições para quantificar os efeitos significativos, enquanto calcula todos os outros.

Conservador Uma vez que os pareceres são feitos acerca de quantidades incertas, os procedimentos de *M&V* devem ser concebidos para avaliar por baixo a *economia*.

Consistente O relatório da eficácia de um projeto de eficiência energética deve ser consistente entre:

- diferentes tipos de projetos de eficiência *energética*;
- diferentes profissionais de gestão *energética* para qualquer projeto;
- diferentes períodos de tempo para o mesmo projeto; e
- projetos de eficiência energética e novos projetos de produção de *energia*.

‘Consistente’ não significa ‘idêntico,’ uma vez que é reconhecido que qualquer relatório do tipo empírico envolve pareceres que podem não ser feitos de forma idêntica por todos os relatores. Ao identificar áreas chave de pareceres, o PIMVP ajuda a evitar inconsistências que possam surgir devido à falta de consideração de dimensões importantes.

Preciso Os relatórios de *M&V* devem ser tão precisos quanto o orçamento de *M&V* o permita. Os custos de *M&V* devem normalmente ser mais baixos em relação ao valor monetário da *economia* a ser avaliada. Os gastos de *M&V* devem também ser consistentes com as implicações financeiras de reportar com sobre-informação ou sub-informação do desempenho energético do projeto. Os compromissos sobre a precisão devem ser acompanhados por um maior conservadorismo em qualquer cálculo ou parecer.

Relevante A determinação da *economia* deve medir os parâmetros de desempenho energético mais importantes, ou menos conhecidos, enquanto que outros parâmetros menos críticos ou previsíveis podem ser calculados.

Transparente Todas as atividades de *M&V* devem ser clara e completamente divulgadas. A divulgação completa deve incluir a apresentação de todos os elementos definidos nos capítulos 5 e 6 para o conteúdo de um *Plano de M&V* e de um relatório de *economia*, respectivamente.

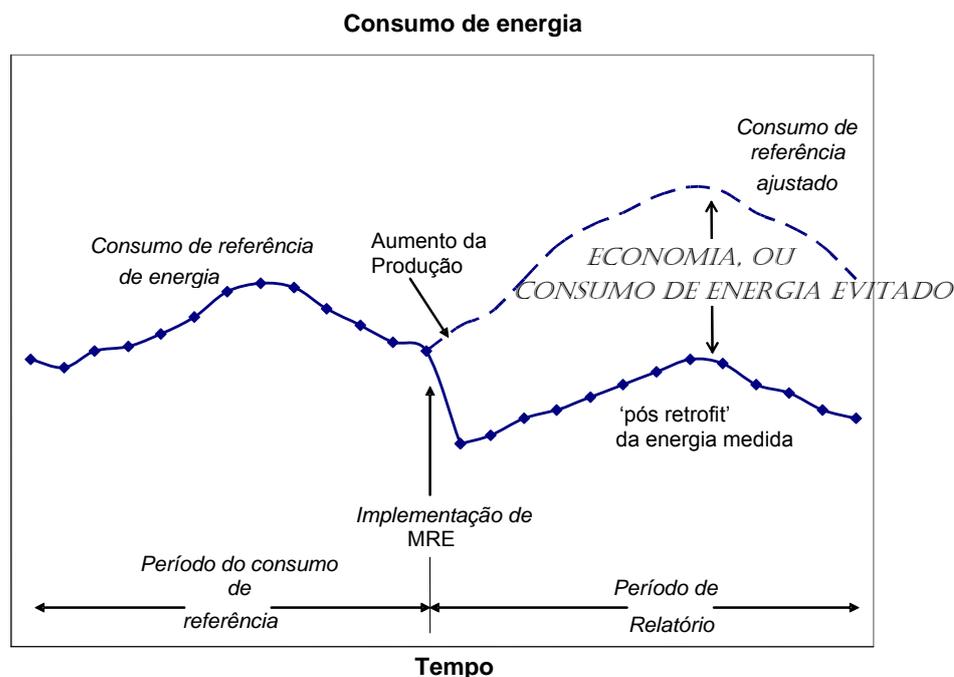
O equilíbrio destes documentos baseia-se numa estrutura flexível de procedimentos básicos e quatro opções para pôr em funcionamento processos de *M&V* que seguem estes princípios fundamentais. Quando a estrutura não dá nenhuma indicação ou é inconsistente relativamente a uma aplicação específica qualquer, estes princípios de *M&V* devem ser usados como orientação.

⁵ As palavras em itálico têm o seu significado definido no capítulo 9.

4.1 Introdução

A *economia*⁶ de energia, água ou Demanda não pode ser medida diretamente, uma vez que a *economia* representa a ausência do consumo de energia/água ou da Demanda. Em vez disso, a economia é determinada comparando consumo medido ou consumo antes e depois da implementação de um programa, fazendo ajustes adequados às alterações nas condições.

Figura 1 Exemplo de Histórico de energia



Como exemplo de um processo de determinação de economia, a Figura 1 mostra o histórico do consumo de energia de uma caldeira industrial antes e depois da implementação de uma *medida de racionalização de energia (MRE)* para recuperar calor dos seus gases de combustão. Na mesma altura da instalação da *MRE*, a produção da fábrica também aumentou.

Para documentar adequadamente o impacto da *MRE*, o seu efeito energético deve ser separado do efeito energético do aumento da produção. O padrão de utilização do “*período de referência*” antes da instalação da *MRE* foi estudado para determinar a relação entre consumo de energia e produção. Depois da instalação da *MRE*, esta relação de *período de referência* foi utilizada para calcular a quantidade de energia que a fábrica teria utilizado por mês se não houvesse uma *MRE* (chamado “*período de referência ajustado*”). A *economia*, ou ‘*consumo de energia evitado*’ é a diferença entre o *período de referência ajustado* e a energia que foi realmente contada durante o *pós-retrofit*

Sem o ajuste para a mudança na produção, a diferença entre *consumo de referência* e *pós-retrofit* de energia teria sido muito inferior, dando uma sub-informação acerca do efeito da recuperação de calor.

É necessário separar os efeitos *energéticos* de um programa de *economia* dos efeitos de outras mudanças simultâneas que afetam os sistemas que usam *energia*. A comparação do antes e depois do consumo de energia ou demanda deve ser feita sobre uma base consistente, utilizando a seguinte Equação 1) geral:

⁶ As palavras em itálico têm o seu significado definido no capítulo 9

$Economia = (\text{Consumo ou Demanda durante o Período de referência} - \text{Consumo ou Demanda durante o pós-retrofit}) \pm \text{Ajustes}$ 1)

O termo "Ajustes" nesta equação geral é usado para ajustar o consumo ou a Demanda dos períodos de referência e de Relatório sob um conjunto comum de condições. Este termo ajusta relatórios de economia reais de uma simples comparação de custo ou utilização antes e depois da implementação de uma medida de racionalização de energia (MRE). Simples comparações de custos de empresas do setor energético sem tais ajustes reportam apenas alterações de custo e não reportam o verdadeiro desempenho energético de um projeto. Para reportar adequadamente a "economia," os ajustes devem explicar as diferenças nas condições entre o período de referência e os períodos de Relatório.

O resto deste capítulo define métodos básicos destes processos de medição e ajuste. Se estes métodos não cobrirem todas as questões que surjam no seu projeto, deve-se consultar para mais orientações os Princípios de M&V (Capítulo 3).

4.2 Terminologia da Energia, da Água e da Demanda

Os processos de determinação de economia de energia são semelhantes aos dos da determinação da economia de água ou da Demanda. Para simplificar as descrições neste documento, a palavra *energia* em itálico será normalmente utilizada para significar o consumo de energia e de água ou da Demanda. De modo semelhante a expressão *Medida de Racionalização de Energia (MRE)* será normalmente usada para significar: medidas que melhoram a eficiência, ou conservam energia ou água, ou gerem a Demanda.

4.3 O Processo de Concepção da M&V e o Relatório de Informação

O processo de concepção da M&V e o Relatório da informação é paralelo ao processo de concepção e implementação da MRE. Os processos de M&V devem incluir os seguintes passos:

1. Considerar as necessidades do usuário dos relatórios planejados de M&V. Se o usuário está centrado no controle do custo global, os métodos para toda a instalação podem ser os mais adequados. Se o usuário se centrar em MREs em particular, técnicas de medição isoladas das MRE implementadas podem ser as mais adequadas (ver seção 4.4).
2. Ao desenvolver a MRE(s), deve-se selecionar a opção do PIMVP (ver seções 4.7 - 4.11) que seja mais consistente com o objetivo das MREs, a necessidade de precisão e o orçamento para a M&V. Decidir se o ajuste de todas as quantidades de energia será feito para as condições do pós-retrofit ou para um outro conjunto de condições (ver seção 4.6). Decidir a duração do período de referência e do pós-retrofit (seção 4.5) (Estas decisões fundamentais podem ser mencionadas nos termos de um contrato de desempenho energético.)
3. Reunir dados relevantes de energia e operação do período de referência e registrá-los de modo a que possam ser consultados no futuro.
4. Preparar um Plano de M&V (Capítulo 5) contendo os resultados dos passos 1 a 3 mencionados acima. Deve definir os passos seguintes de 5 a 9.
5. Como parte da concepção final e instalação da MRE, é preciso também conceber, instalar, calibrar e pôr em funcionamento qualquer equipamento de medição especial que seja necessário ao Plano de M&V.
6. Depois da MRE estar instalada, inspecionar o equipamento instalado e rever os procedimentos de funcionamento para se certificar de que estão em conformidade com a intenção da concepção da MRE. Este processo é vulgarmente chamado de "comissionamento." (ORNL (1999) e a Diretiva ASHRAE 1-1996 definem uma boa prática de comissionamento das modificações na maioria dos edifícios)

7. Reunir dados de *energia* e funcionamento do *pós-retrofit*, como definido no *Plano de M&V*.
8. Calcular a *economia* de *energia* e as unidades monetárias de acordo com o *Plano de M&V*.
9. Reportar *economias* de acordo com o *Plano de M&V* (ver Capítulo 6).

Os passos 7 a 9 são repetidos periodicamente quando é necessário um relatório de *economia*.

Terceiros podem verificar se o *Plano de M&V* adere ao PIMVP, e possivelmente a um contrato de desempenho energético. Estes terceiros também podem verificar se os relatórios de *economia* estão em conformidade com o *Plano de M&V* aprovado (ver seção 8.6).

O resto deste documento acrescenta detalhes acerca de como determinar e reportar *economias*.

4.4 Limites de Medição

A *economia* pode ser determinada para toda uma *instalação* ou simplesmente para parte dela, dependendo dos objetivos a reportar.

- Se o objetivo de apresentar relatórios for o de ajudar a gerir apenas o equipamento

Efeitos Interativos - Exemplo

Para uma MRE, que reduz as necessidades de alimentação da iluminação, o *limite de medição* deve incluir a potência das lâmpadas. Contudo baixar a energia da iluminação pode também baixar as condições de refrigeração mecânica e/ou aumentar as condições de aquecimento. Tais fluxos de energia de aquecimento e arrefecimento atribuídos à iluminação não podem habitualmente ser facilmente medidos. São *efeitos interativos* que poderão ter de ser estimados, em vez de ser incluídos dentro do limite de medição.

afetado pelo programa de *economia*, deve-se estabelecer um *limite de medição* em torno desse equipamento. Desta forma todas as necessidades de *energia* do equipamento podem ser determinadas dentro do limite⁷. Esta abordagem é usada nas opções de medição isolada da MRE na seção 4.8.

- Se o objetivo de apresentar relatórios for o de ajudar a gerir o desempenho energético de toda a *instalação*, os medidores que medem o fornecimento de *energia* de toda a *instalação* podem ser usados para avaliar o desempenho energético e a *economia*. O *limite de medição* neste caso engloba toda a *instalação*. A Opção C para toda a *instalação*, é descrita na seção 4.9.
- Se os dados do *período de referência* ou do *pós-retrofit* não são de confiança ou não estão disponíveis, dados *energéticos* de um programa de simulação calibrada podem substituir os dados em falta, para apenas uma parte ou para toda a *instalação*. O *limite de medição* pode ser estabelecido em conformidade com isso. A Opção D da simulação calibrada é descrita na seção 4.10.

Algumas das necessidades de energia dos sistemas ou equipamento a ser avaliados podem surgir fora de um *limite de medição prático*. No entanto, todos os efeitos *energéticos* das MRE(s) devem ser considerados. Esses efeitos energéticos que são significativos devem ser determinados a partir de medições, sendo o resto estimado ou ignorado.

⁷ A determinação do consumo de *energia* pode ser feita por medição direta do fluxo de energia ou por medição direta de similares (“proxies”) de consumo que dão indicação direta do consumo de *energia*.

Quaisquer efeitos energéticos que ocorram para lá do *limite de medição imaginário* são denominados de ‘efeitos interativos’⁸. É preciso encontrar uma forma de estimar a magnitude destes *efeitos interativos* de modo a determinar a *economia*. Alternativamente podem ser ignorados desde que o *Plano de M&V* inclua a discussão de cada efeito e a sua magnitude provável.

4.5 Seleção do Período de Medição

Deve-se selecionar cuidadosamente o período de tempo a ser utilizado como o *período de referência* e o *pós-retrofit*. São especificadas mais abaixo estratégias para cada um.

4.5.1 Período de referência

O *período de referência* deve ser determinado para:

- Representar todos os modos de funcionamento da *instalação*. Este período deve cobrir um ciclo de funcionamento completo desde o consumo máximo de energia ao mínimo.

Ciclos de funcionamento – Exemplos

- O desenvolvimento do consumo de energia é normalmente afetado significativamente pelas condições atmosféricas, por isso os dados do consumo de uma no inteiro são necessários para definir um ciclo de funcionamento completo.
- O consumo de energia de um sistema de ar comprimido pode ser apenas regido pelos níveis de produção da fábrica, que variam em um ciclo semanal, por isso os dados de uma semana poderão ser tudo o que é preciso para definir o desempenho energético do consumo de referência.

- Representar relativamente bem todas as condições de funcionamento de um ciclo de funcionamento normal. Por exemplo, apesar de um ano poder ser escolhido como o período de referência, se faltarem dados de um mês durante o ano selecionado, dados comparáveis para o mesmo mês de um ano diferente devem ser empregues para garantir que o registro do período de referência não representa por baixo as condições de funcionamento do mês em falta.
- Incluir apenas períodos de tempo para os quais todos os fatores, fixos e variáveis, que regem a energia são conhecidos acerca da instalação. O prolongamento para trás no tempo do período de referência para incluir múltiplos ciclos de funcionamento requer um conhecimento idêntico de todos os fatores que regem a energia através do período de referência mais longo de modo a retirar corretamente os ajustes de rotina e não de rotina (ver seção 4.6) após a instalação da MRE.
- Coincidir com o período imediatamente anterior ao compromisso de levar a cabo a instalação da MRE. Períodos mais anteriores no tempo não refletiriam as condições que existiam antes da ação corretiva e podem por conseguinte não fornecer um *período de referência* adequado para medir o efeito de apenas uma MRE.

O planeamento da MRE pode requerer o estudo de um período de tempo mais longo do que o escolhido para o *período de referência*. Períodos de estudo mais longos ajudam o planificador a compreender o desempenho energético da *instalação* e a determinar qual é realmente a duração de um *ciclo* normal .

4.5.2 pós-retrofit

O usuário dos relatórios de *economia* deve determinar a duração do *pós-retrofit*. O *pós-retrofit* deve englobar pelo menos um *ciclo* de funcionamento normal do equipamento ou *instalação*, para caracterizar completamente a eficácia da *economia* em todos os modos de funcionamento normais.

⁸ Estes *efeitos interativos* são por vezes chamados ‘fugas.’

Alguns projetos podem cessar de reportar *economia* depois de um período de "teste" que pode ir de uma leitura instantânea a um ano ou dois.

A duração de qualquer *pós-retrofit* deve ser determinada com a devida consideração pela duração da *MRE* e a probabilidade de degradação da *economia* originalmente obtida ao longo do tempo.

Independentemente da duração do *pós-retrofit*, o sistema de contagem pode continuar a fornecer informação em tempo real dos dados adquiridos aos colaboradores responsáveis pela gestão da instalação.

Se reduzir a frequência da medição da economia após a prova inicial do desempenho energético, outras atividades de monitoramento no local podem ser intensificadas para garantir que a economia se mantém.

A economia avaliada segundo um conceito aderente do PIMVP apenas pode ser reportada pelo *pós-retrofit* que utiliza os procedimentos que aderem ao PIMVP. Se a economia avaliada segundo um conceito aderente do PIMVP for usada como base para assumir uma futura *economia*, futuros relatórios de *economia* não aderem ao PIMVP.

4.5.3 Períodos Adjacentes de Medição (Teste em funcionamento/Parado)

Quando uma *MRE* pode ser facilmente iniciada ou parada, os *períodos de referência* e os *períodos de Relatório* adjacentes no tempo, podem ser selecionados. Uma alteração na lógica de comando é um exemplo de uma *MRE* que pode frequentemente ser facilmente desinstalada e novamente instalada sem afetar a instalação.

Estes "Testes em funcionamento/Parado" implicam medições de *energia* com a *MRE* em funcionamento, e depois imediatamente a seguir com a *MRE* parada para que as condições do *período de referência* regressem. A diferença no consumo de energia entre dois períodos de medição adjacentes é a *economia* criada pela *MRE*. A Equação 1) da seção 4.1 pode ser usada para calcular a *economia*, sem o termo ajustes, se todos os fatores que influenciam a *energia* forem os mesmos nos dois períodos adjacentes.

Esta técnica pode ser aplicada nas opções de medição isolada da *MRE* e de Toda a Instalação. No entanto, os *limites de medição* devem ser localizados para que seja possível detectar rapidamente uma diferença significativa no consumo de *energia* contado quando o equipamento ou os sistemas estão ligados e desligados.

Os períodos adjacentes utilizados para o Teste em Funcionamento/Parado devem ser suficientemente longos para representar um funcionamento estável. Os períodos devem também cobrir a faixa do funcionamento normal da instalação. Para cobrir a faixa normal, o teste funcionamento/Parado pode necessitar de ser repetido em diferentes modos de funcionamento tal como variação de estação ou níveis de produção.

É preciso ter em atenção que as *MREs* que podem ser paradas para estes testes, correm o risco de ser acidental ou propositadamente Paradas quando deveriam estar Em funcionamento.

4.6 Bases para Ajustes

O termo ajustes mostrado na Equação 1) da seção 4.1 deve ser calculado a partir de fatos físicos identificáveis acerca das características que regem a energia do equipamento dentro do *limite de medição*. São possíveis dois tipos de ajuste:

- **Ajustes de rotina** – para quaisquer fatores que rejam a *energia*, e se espera que mudem periodicamente durante o *pós-retrofit*, tais como o clima ou o volume de produção. Podem ser utilizadas uma variedade de técnicas para definir a metodologia de ajuste. A técnicas podem ser tão simples como um valor constante (sem ajuste) ou tão complexa como várias equações não-lineares, de parâmetros múltiplos cada uma correlacionando *energia* com uma ou mais variáveis independentes. Devem ser usadas técnicas matemáticas válidas para obter o método de ajuste para cada *Plano de M&V*.

Ver Anexo B para ter alguma orientação na avaliação da validade dos métodos matemáticos.

e

- **Ajustes não-de rotina** – para aqueles fatores regidos pela energia, que não se espera que mudem habitualmente, tal como: o tamanho da instalação, a concepção e o funcionamento do equipamento instalado, o número semanal de turnos de produção ou o tipo de ocupantes. Estes fatores estáticos devem ser monitorados para ver se há alguma alteração durante o pós-retrofit. Ver seção 8.2 para mais informações acerca de ajustes não-de rotina.

Fatores Estáticos

Exemplos de *fatores estáticos* que precisam de *ajustes não -periódicos* são mudanças:

- na quantidade de espaço a ser aquecido ou com ar condicionado,
- tipo de produtos a ser produzidos ou o número de turnos de produção por dia
- características de revestimento do edifício (novo isolamento, janelas, portas, impermeabilidade de ar),
- quantidade, tipo ou utilização do equipamento da *instalação* e dos utilizadores,
- norma ambiental interior (ex. Níveis de iluminação, temperatura, níveis de ventilação), e
- tipo ou horário de ocupação.

Por conseguinte a Equação 1) pode ser expressa completamente como:

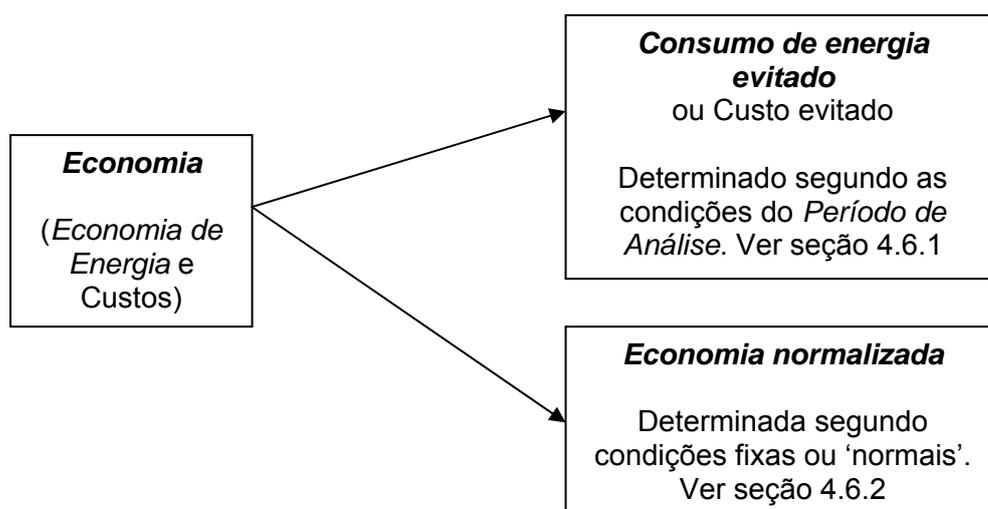
$$\text{Economia} = (\text{energia no período de referência} - \text{Consumo no 'pós-retrofit'}) \\ \pm \text{Ajustes De rotina} \pm \text{Ajustes Não-de rotina}$$

1a)

Os termos *ajustes* na Equação 1a) são usados para exprimir ambas as categorias de dados de consumo medidos sob o mesmo conjunto de condições. O mecanismo dos ajustes depende da *economia* a ser reportada na base das condições do *pós-retrofit*, ou normalizada usando um outro conjunto de condições fixadas como se mostra mais abaixo⁹.

⁹ Os seguintes métodos generalizados podem ser aplicados às Opções A, B e C descritas no resto do Capítulo 4. A Opção D inclui geralmente os ajustes dentro da simulação, embora o conjunto de condições de ajuste deva ainda ser escolhido.

Figura 2 Dois
Tipos de
Economia



4.6.1 Base do pós-retrofit Ou Uso Evitado de Energia

Quando a *economia* é reportada sob as condições do *pós-retrofit*, também pode ser denominada *consumo de energia evitado do pós-retrofit*. O *consumo de energia evitado* quantifica a *economia* no *pós-retrofit* relativamente ao que o consumo de *energia* teria sido sem as *MRE(s)*.

Quando se reporta a *economia* sob condições do *pós-retrofit*, o *período do período de referência* precisa de ser ajustado às condições do *pós-retrofit*.

Para este estilo comum de reportar a *economia* a Equação 1a) pode ser reiterada como:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de energia evitado (ou Economia)} = \\ (\text{Período de referência} \pm \text{Ajustes de rotina às condições do pós-retrofit} \\ \pm \text{Ajustes não-de rotina às condições do pós-retrofit}) - \text{Consumo do pós-retrofit} \end{aligned}$$

Esta equação é muitas vezes simplificada da seguinte forma:

$$\begin{aligned} \text{Consumo de energia evitado (ou Economia)} = \\ \text{Período de referência ajustado} - \text{Consumo do pós-retrofit} \\ \pm \text{Ajustes não-de rotina do consumo de referência às condições do pós-retrofit} \end{aligned} \quad 1b)$$

Onde o *Período de referência ajustado* é definido como o *consumo de referência* mais quaisquer *ajustes de rotina* necessários para o ajustar às condições do *pós-retrofit*.

O *período de referência ajustado* é normalmente obtido, desenvolvendo primeiro um modelo matemático que correlaciona dados reais do *período de referência* com *variáveis independentes* adequadas no *período de referência*. Cada *variável independente* do *pós-retrofit* é então inserida neste modelo matemático do *período de referência* para produzir a utilização do *período de referência ajustado*.

Variáveis Independentes

Uma *variável independente* é um parâmetro que pode mudar regularmente e ter um impacto mensurável no consumo de *energia* de um sistema ou *instalação*. Por exemplo, uma *variável independente* comum, que rege o consumo de energia do edifício é a temperatura exterior. Do mesmo modo, numa fábrica o número de unidades produzido num determinado período é frequentemente uma *variável independente* que afecta significativamente o consumo de energia. Outra *variável independente* comum é o número de segundos, horas ou dias de cada período de contagem. Ver também a seção 4.9.3.

4.6.2 Base de Condições fixas ou Economia Normalizada

Outras condições que não as do *pós-retrofit* podem ser usadas como base de ajuste. As condições podem ser as do *período de referência*, de algum outro período arbitrário, ou de um conjunto de condições típicas, médias ou 'normais'.

O ajuste a um conjunto fixo de condições reporta um estilo de *economia* que pode ser denominado de "*economia normalizada*" do *pós-retrofit*. Neste método, os *consumos* do *pós-retrofit* e possivelmente do *período de referência* são ajustados das suas condições reais ao conjunto selecionado de condições comuns fixas (ou 'normais').

A Equação 1c) reitera a Equação 1a) mais geral, para tais relatórios de *economia normalizada* :

Economia Normalizada =

$$\begin{aligned} & (\text{Período de referência} \pm \text{Ajustes de rotina às condições fixas} \\ & \pm \text{Ajustes não-de rotina às condições fixas}) \\ & - (\text{Consumo do pós-retrofit} \pm \text{Ajustes de rotina às condições fixas} \\ & \pm \text{Ajustes não-de rotina às condições fixas}) \end{aligned} \quad 1c)$$

O cálculo do termo *ajustes de rotina* do *pós-retrofit* implica habitualmente o desenvolvimento de um modelo matemático que correlaciona o *consumo do pós-retrofit* com as *variáveis independentes* do *pós-retrofit*. Este modelo é então utilizado para ajustar o *consumo do pós-retrofit* às condições fixas escolhidas. Além disso, se o conjunto fixo de condições não for o do *período de referência*, um modelo matemático do *período de referência* também é usado para ajustar o *período de referência* às condições fixas escolhidas.

Que base para ajuste, ou que tipo de 'Economia?'

Fatores a ter em consideração quando se escolhe entre *consumo de energia evitado* e *economia normalizada*:

O modelo de *economia* do "Consumo de energia evitado" (Equação 1b):

- depende das condições de funcionamento do 'pós retrofit'. Apesar de a *economia* poder ser ajustada correctamente para fenómenos como o clima, o nível reportado da *economia* depende do tempo que faz.
- não pode ser comparado directamente com *economias* previstas sob condições de *consumo de referência*.

O modelo de *economia* da "Economia normalizada" (Equação 1c):

- não é afectado pelas condições do 'pós retrofit' uma vez que o conjunto fixo de condições é estabelecido uma única vez e não é alterado.
- pode ser directamente comparado com *economias* previstas sob o mesmo conjunto fixo de condições.
- apenas pode ser reportado depois de um *ciclo completo de consumo de energia do período de análise*, de modo a que a correlação matemática entre o *consumo do período de análise* e as condições de funcionamento possa ser deduzida.

4.7 Visão Geral das Opções do PIMVP

As quantidades de *energia* nas várias formas da Equação 1) podem ser medidas por uma ou mais das seguintes técnicas:

- Faturas da concessionária ou do fornecedor de combustível, ou leitura dos medidores da concessionária e fazendo os mesmos ajustes às leituras que a concessionária faz.
- Medidores especiais que isolam a *MRE* ou parte da *instalação* do resto da *instalação*. As medições podem ser periódicas durante pequenos intervalos, ou contínuas durante os *períodos de referência* ou de *pós-retrofit*.
- Medições separadas de parâmetros usados no cálculo do consumo de *energia*. Por exemplo, parâmetros de funcionamento de equipamento de carga elétrica e horas de funcionamento podem ser medidos separadamente e multiplicados juntos para calcular o consumo de energia do equipamento.
- Medição de *representantes (proxies)* de consumo de *energia*. Por exemplo, se o consumo de energia de um motor for correlacionado com o sinal de saída do variador de velocidade que controla o motor, o sinal de saída pode ser um representante para a energia do motor.
- A simulação por computador que é calibrada com alguns dados de desempenho energético reais para o sistema ou *instalação* a ser modelados. Um exemplo de simulação por computador é a análise DOE-2 para edifícios (apenas a Opção D).

Se um valor de *energia* já é conhecido com a precisão adequada ou quando é mais dispendioso medir do que justificar pelas circunstâncias, então a medição de *energia* pode não ser necessária ou adequada. Nestes casos, as *estimativas* podem ser feitas a partir de alguns parâmetros de *MRE*, mas outras devem ser medidas (Apenas a Opção A).

O PIMVP fornece quatro opções para determinar a *economia* (A, B, C e D). A escolha entre as opções implica muitas considerações incluindo o local do *limite de medição* (ver seção 4.4). Se for decidido determinar a *economia* ao nível da *instalação*, a Opção C ou D podem ser favorecidas. No entanto, se apenas é de ter em consideração o desempenho energético

da própria *MRE*, uma técnica de medição isolada da *MRE* pode ser mais adequada (Opção A, B ou D).

O Quadro 1 resume as quatro opções que são explicadas da seção 4.8 à 4.10. Exemplos da utilização das opções encontram-se no Anexo A. A seção 4.11 oferece orientação relativamente à Seleção da opção adequada a qualquer projeto específico.

Quadro 1
Visão geral
das opções
do PIMVP

Opção PIMVP	Como calcular a economia	Aplicações típicas
<p>A. Medição Isolada da MRE: Medição dos parâmetros chave</p> <p>A <i>economia</i> é determinada pela medição no terreno dos parâmetros chave do desempenho energético, que define o consumo de <i>energia</i> dos sistemas afetados pela <i>MRE</i> e/ou o sucesso do projeto.</p> <p>A frequência da medição vai desde o curto prazo a contínua, dependendo das variações esperadas no parâmetro medido e da duração do <i>pós-retrofit</i>.</p> <p>Os parâmetros que não são selecionados para medição no terreno são <i>estimados</i>. As <i>estimativas</i> podem basear-se em dados históricos, especificações do fabricante ou avaliação da engenharia. É necessária a documentação da fonte ou justificação do parâmetro <i>estimado</i>. O erro de <i>economia</i> provável que surge da <i>estimativa</i> em vez da medição é avaliado.</p>	<p>Cálculo de engenharia do <i>período de referência</i> e do <i>consumo do pós-retrofit</i> a partir de:</p> <ul style="list-style-type: none"> ○ Medições a curto prazo ou contínuas de parâmetros chave de funcionamento; e ○ Valores <i>estimados</i>. <p><i>Ajustes de rotina e não-de rotina</i> como exigido.</p>	<p>A MRE da iluminação onde a energia requerida é o parâmetro chave de desempenho energético, que é medido periodicamente. Calcular as horas de funcionamento da iluminação baseadas nos horários do edifício e no comportamento dos ocupantes.</p>
<p>B. Medição isolada da MRE: Medição de todos os parâmetros</p> <p>A <i>economia</i> é determinada pela medição no terreno do consumo de <i>energia</i> do sistema afetado pela <i>MRE</i>.</p> <p>A frequência da medição vai desde o curto prazo a contínua, dependendo das variações esperadas na <i>economia</i> e da duração do <i>pós-retrofit</i>.</p>	<p>Medições a curto prazo ou contínuas do <i>período de referência</i> e <i>consumo do período de relato</i>, e/ou cálculos de engenharia, usando medições de substituição de consumo de <i>energia</i>.</p> <p><i>Ajustes de rotina e não-de rotina</i> como exigido.</p>	<p>A aplicação de uma velocidade variável e controles a um motor para ajustar o fluxo da bomba. Medir a energia elétrica com um medidor de kW instalado na alimentação elétrica do motor, que lê a potência a cada minuto. No <i>período de consumo de referência</i> este medidor está no mesmo lugar durante uma semana para verificar a carga <i>constante</i>. O medidor está no lugar durante o <i>pós-retrofit</i> para medir as variações da utilização da potência.</p>

Opção PIMVP	Como calcular a economia	Aplicações típicas
<p>C. Toda a Instalação</p> <p>A <i>economia</i> é determinada pela medição do consumo de energia ao nível de toda a <i>instalação</i> ou <i>sub-instalação</i>.</p> <p>Medições contínuas do consumo de <i>energia</i> de toda a <i>instalação</i> são efetuadas durante o <i>pós-retrofit</i>.</p>	<p>Análise dos dados do medidor do <i>período de referência</i> de toda a <i>instalação</i> e do <i>pós-retrofit</i> (empresa de serviços energéticos).</p> <p><i>Ajustes de rotina</i> como exigido, usando técnicas tal como uma simples comparação ou análise de regressão.</p> <p><i>Ajustes não-de rotina</i> como exigido.</p>	<p>Programa de gestão de energia multifacetado, afetando muitos sistemas numa <i>instalação</i>. Medição do consumo de energia com os medidores de gás e eletricidade da empresa de serviços energéticos para um <i>período de referência</i> de doze meses e durante o <i>pós-retrofit</i>.</p>
<p>D. Simulação calibrada</p> <p>A <i>economia</i> é determinada através da simulação do consumo de <i>energia</i> de toda a <i>instalação</i>, ou de uma <i>sub-instalação</i>.</p> <p>Rotinas de simulação são demonstradas para modelar adequadamente o desempenho energético real medido na <i>instalação</i>.</p> <p>Esta opção requer habitualmente competências consideráveis em simulação calibrada.</p>	<p>Simulação do consumo de energia, calibrada com dados de faturação por hora ou mensais da empresa de serviços energéticos. (A medição do consumo de energia final pode ser usada para ajudar a refinar dados de entrada.)</p>	<p>Programa de gestão de energia multifacetado, afetando muitos sistemas numa <i>instalação</i> mas onde não existia nenhum medidor no <i>período de referência</i>.</p> <p>Medições do consumo de energia, após a instalação de medidores de gás e de eletricidade, são usados para calibrar a simulação.</p> <p>Consumo de energia do <i>período de referência</i>, determinado utilizando a simulação calibrada, é comparado à simulação do consumo de energia do <i>período de relato</i>.</p>

4.8 Opções A & B: Medição Isolada das Medidas de Racionalização de Energia

A seção 4.4 define o conceito de um *limite de medição* englobando o equipamento melhorado.

A medição isolada das alterações permite o estreitamento do *limite de medição* de modo a reduzir o esforço requerido para monitorar *variáveis independentes* e *fatores estáticos*, quando as medidas afetam apenas uma parte da *instalação*. No entanto, limites mais pequenos do que toda a *instalação*, requerem habitualmente medidores adicionais no *limite de medição*.

Limites de medição mais estreitos também introduzem a possibilidade de ‘fuga’ através de *efeitos interativos* não medidos.

Uma vez que o resultado da medição é inferior a toda a *instalação*, os resultados das técnicas de medição isoladas das MRE não podem ser correlacionados com o consumo de *energia* total da *instalação* mostrado nas faturas da empresa de serviços energéticos. Mudanças na *instalação* para além do *limite de medição* mas não relacionadas com a MRE não serão reportadas pelas técnicas de medição isoladas mas serão incluídas no consumo ou desempenho energético medidos pela empresa de serviços energéticos.

São apresentadas duas opções para isolar o consumo de *energia* do equipamento afetado por uma MRE, do consumo de energia do resto das instalações:

- Opção A: Medição Isolada da MRE: Medição de parâmetros chave (Ver seção 4.8.1)
- Opção B: Medição Isolada da MRE: Medição de todos os parâmetros (Ver seção 4.8.2)

O medidor isolado é colocado no *limite de medição* entre o equipamento afetado pela MRE e o equipamento que ele não afeta.

Exemplo de isolamento do equipamento

Uma caldeira é substituída por outra mais eficiente. É estabelecido um *limite de medição* apenas à volta da caldeira de modo a que a avaliação da nova caldeira não seja afectada por variações na carga de aquecimento de toda a instalação.

Medidores para o consumo de combustível e calor libertado pela caldeira são tudo o que é necessário para avaliar a eficiência das duas caldeiras em toda a extensão do seu funcionamento. A *economia* é reportada para a MRE da caldeira, aplicando o melhoramento da eficiência observado à carga anual estimada da caldeira. O teste de eficiência da caldeira é repetido anualmente.

Quando se estabelece um *limite de medição*, deve-se ter em atenção qualquer fluxo de energia afetado pela MRE mas para além do limite. Deve-se desenvolver um método para calcular tais *efeitos interativos* (Ver seção 4.4). Por exemplo, uma redução da carga da iluminação reduz frequentemente o consumo de energia do sistema de HVAC (aquecimento, ventilação e ar condicionado), mas o único *limite de medição* razoável englobaria apenas a utilização da eletricidade das lâmpadas, não o seu impacto energético no aquecimento e refrigeração. Neste caso o efeito da MRE nas necessidades energéticas do HVAC é um *efeito interativo*, que deve ser avaliado. Se se prevê que o *efeito interativo* seja significativo, podem ser feitas estimativas de engenharia do *efeito interativo* como fração da *economia* de energia da iluminação medida. O aquecimento convencional e os cálculos de refrigeração podem ser usados para determinar a fração adequada para cada estação. No entanto, se o *limite de medição* puder ser aumentado para englobar os *efeitos interativos*, não há necessidade de os calcular.

À excepção de pequenos *efeitos interativos* estimados, o *limite de medição* define os

pontos de contagem e a faixa de qualquer *ajuste*, que podem ser usados nas várias formas da Equação 1). Apenas as mudanças nos sistemas de *energia* e nas variáveis de funcionamento dentro do *limite de medição* devem ser monitoradas para preparar o(s) termo(s) de *ajuste* da Equação 1).

A seção 4.5 examina, de forma geral, os períodos de medição. O parâmetros podem ser medidos continuamente ou medidos periodicamente durante curtos períodos de tempo. A quantidade esperada de variação no parâmetro irá reger a decisão de medir contínua ou periodicamente. Onde não se espera a alteração de um parâmetro, este pode ser medido imediatamente após a instalação da MRE e verificado ocasionalmente durante o *pós-retrofit*.

A frequência desta verificação pode ser determinada começando com medições frequentes para verificar se o parâmetro é *constante*. Uma vez que se prove que é *constante*, a frequência da medição pode ser reduzida. Para manter o controle da *economia* à medida que a frequência da medição diminui, mais inspeções frequentes ou outros testes podem ser realizados para verificar o funcionamento adequado.

A contagem contínua fornece uma maior certeza da *economia* reportada e mais dados acerca do funcionamento do equipamento. Esta informação pode ser utilizada para melhorar ou otimizar o funcionamento do equipamento numa base de tempo real, melhorando deste modo o benefício da própria *MRE*. Os resultados de vários estudos mostraram que se pode alcançar cinco a quinze por cento de *economia* de energia através da utilização cuidadosa do armazenamento contínuo de dados (Claridge et al. 1994, 1996; Haberl et al. 1995).

Se a medição não for contínua e os medidores forem retirados entre leituras, o local da medição e as especificações do dispositivo de medição devem ser registradas no Plano de M&V, juntamente com o procedimento para a calibração do medidor a ser usado. Onde se espera que um parâmetro seja constante, os intervalos de medição podem ser curtos e ocasionais. Partindo do princípio que têm uma carga *constante*, os motores elétricos numa fábrica industrial fornecem um exemplo comum de fluxo de alimentação *constante*. Contudo os períodos de funcionamento do motor podem variar com o tipo de produto a ser produzido a cada dia. Onde um parâmetro pode mudar periodicamente, as medições ocasionais do parâmetro (horas de funcionamento neste exemplo do motor) devem ser feitas nos momentos representativos do comportamento normal do sistema.

Onde um parâmetro pode variar diariamente ou de hora em hora, como na maior parte dos sistemas de aquecimento ou refrigeração dos edifícios, a contagem contínua pode ser a mais simples. Para as cargas que dependem das alterações climáticas, as medições podem ser efetuadas durante um período bastante longo para caracterizar adequadamente o padrão de carga durante todas as partes do seu ciclo anual normal (isto é, cada estação, e dia da semana/fim de semana) e repetidas sempre que necessário durante o *pós-retrofit*. Exemplos deste perfil dia-tipo podem ser encontrados em Katipamula e Haberl (1991), Akbari et al. (1988), Hadley e Tomich (1986), Bou Saada e Haberl (1995a, 1995b) e Bou Saada et al. (1996).

Quando múltiplas versões da mesma instalação de *MRE* são incluídas dentro do *limite de medição*, amostras estatisticamente válidas podem ser usadas como medições válidas do parâmetro total. Tais situações podem surgir, por exemplo, quando o consumo total da alimentação da iluminação não pode ser medido no quadro elétrico devido à presença de cargas, que não são de iluminação, no mesmo quadro. Em vez disso uma amostra estatisticamente significativa de aparelhos de iluminação é medida antes e depois da implementação da *MRE* para avaliar a mudança no consumo da alimentação. Estes dados de amostra podem ser utilizados como as 'medições' do consumo total da alimentação. O anexo B-3 analisa as questões estatísticas envolvidas na amostragem.

Podem ser utilizados medidores portáteis se apenas for necessária uma contagem a curto-prazo. O custo dos medidores portáteis pode ser partilhado com outros objetivos. No entanto, medidores instalados permanentemente também fornecem informações aos colaboradores responsáveis pela gestão da instalação ou ao equipamento de controle automático para a otimização dos sistemas. Medidores suplementares podem também permitir a faturação de usuários individuais ou departamentos na instalação.

As técnicas de medição isoladas da implementação de *MRE* são melhores aplicadas onde:

- Apenas o desempenho energético dos sistemas afetados pela *MRE* é tido em consideração, ou devido às responsabilidades atribuídas às partes num *contrato de desempenho energético*, ou devido à *economia* da *MRE* ser demasiado pequena para ser detectada no tempo disponível usando a Opção C.

- Os *efeitos interativos* da *MRE* no consumo de *energia* de outro equipamento da *instalação* podem ser estimados razoavelmente ou podem ser considerados insignificantes.
- Possíveis alterações da *instalação*, fora do *limite de medição*, são difíceis de identificar ou avaliar.
- As *variáveis independentes*, que afetam o consumo de *energia*, não são demasiadamente difíceis ou dispendiosas de monitorar.
- Já existem submedidores para isolar o consumo de *energia* dos sistemas.
- Os medidores acrescentados ao *limite de medição* podem ser usados para outros fins tal como informações sobre o funcionamento ou faturação do locatário.
- A medição de parâmetros é menos dispendiosa do que as simulações da Opção D ou os *ajustes não-de rotina* da Opção C .
- Não são garantidos testes de longa duração.
- Não há necessidade de reconciliar diretamente relatórios de economia com alterações nos pagamentos aos fornecedores de energia.

Aplicações específicas de técnicas de medição isoladas a *MREs* comuns escolhidas pelo United States Department of Energy (Ministério da energia dos E.U.A.) são mostradas na Seção III do FEMP (2000). Deve-se, todavia, ter em atenção que as aplicações do FEMP LE-A-01, LC-A-01 e CH-A-01 não são consistentes com o PIMVP porque não requerem nenhuma medição.

As características únicas de cada uma das técnicas de medição isoladas da *MRE* são discutidas nas seções 4.8.1 e 4.8.2, mais abaixo. Questões de medição comuns que surgem quando se utiliza técnicas de medição isoladas de *MRE* são discutidas na seção 4.8.3. A ASHRAE (2002) fornece pormenores técnicos sobre um método semelhante.

4.8.1 Opção A: Medição isolada de *MRE*: Medição dos parâmetros chave

Com a Opção A, Medição isolada de *MRE*: Medição dos parâmetros chave, as quantidades de *energia* na Equação 1) podem ser derivadas de um cálculo, usando uma combinação de medições de alguns parâmetros e *estimativas* dos outros. Tais *estimativas* devem apenas ser usadas onde se possa mostrar que a incerteza combinada de todas estas *estimativas* não afetarão significativamente a *economia* global reportada. É preciso decidir quais são os parâmetros a medir e quais são os que devem ser *estimados*, tendo em consideração a contribuição de cada parâmetro para a incerteza global da *economia* reportada. Os *valores estimados* e a análise da sua importância devem ser incluídos no *Plano de M&V* (Capítulo 5). As *estimativas* podem-se basear em dados históricos tal como as horas de funcionamento registradas do *período de referência*, classificações publicadas do fabricante do equipamento, testes laboratoriais, ou dados típicos do clima.

Quando se sabe que um parâmetro, tal como as horas de utilização, é *constante* e que não se espera que venha a ser influenciado pela *MRE*, então a sua medição durante o *pós-retrofit* é suficiente. A medição do *pós-retrofit* de um parâmetro constante pode também ser considerada uma medição do seu valor do *período de referência*.

Sempre que um parâmetro, conhecido por variar independentemente, não for medido na instalação durante os *períodos de referência* e de *pós-retrofit*, o parâmetro deve ser tratado como uma *estimativa*.

Cálculos de engenharia ou modelagem matemática podem ser usados para avaliar a importância dos erros na estimativa de qualquer parâmetro na *economia* reportada. Por exemplo, se uma parte das horas de funcionamento do equipamento deve ser estimada, mas podem ir de 2.100 a 2.300 horas por ano, a *economia* estimada a 2.100 e a 2.300 horas deve ser calculada e a diferença avaliada pela sua importância relativamente à *economia* esperada. O efeito combinado de todas estas *estimativas* possíveis deve ser avaliado antes de determinar se existe medição suficiente no local. Ver também anexo B-5.1.

A Seleção dos fatores a medir pode também ser considerada relativamente aos objetivos do projeto ou aos deveres de um promotor de contratos correndo alguns riscos de desempenho energético em relação à *MRE*. Quando um fator é significativo para avaliar o desempenho energético, deve ser medido. Outros fatores que ultrapassam o controle do promotor de contratos podem ser estimados. A seção 2.2.1 do FEMP (2000) resume os deveres comuns inerentes às partes de um *contrato de desempenho energético*. O United States Federal Energy Management Program (Programa federal de gestão de energia dos E.U.A.) também publicou as Detailed Guidelines For FEMP M&V Option A (2002) (Diretivas pormenorizadas para a Opção A de *M&V* do FEMP) que fornece mais orientações sobre questões de *estimativa* enfrentadas pelas agências federais dos E.U.A. (Nota: as diretivas do FEMP chamam aos *valores estimados* “estipulações.”)

Se o cálculo da *economia* implica subtrair um parâmetro medido de um parâmetro *estimado*,

O que medir?

Considere-se o exemplo de um projeto de iluminação onde a alimentação consumida do *período de análise* é medida, mas a alimentação do *consumo de referência* não é medida. Por conseguinte, o consumo da alimentação deve ser tratado como uma *estimativa*, no contexto da utilização da Opção A.

Como resultado, as horas de funcionamento devem ser medidas, se o procedimento usado for para aderir à Opção A do PIMVP.

o resultado é uma *estimativa*. Por exemplo, se um parâmetro é medido durante o *pós-retrofit* e é subtraído de um valor não medido para o mesmo parâmetro no *período de referência*, a diferença resultante é apenas uma *estimativa*.

Um exemplo da aplicação da Opção A é uma *MRE* que implica a instalação de equipamento de iluminação de alta eficiência, sem mudar os períodos de iluminação. A *economia* pode ser determinada usando a Opção A, medindo o consumo da alimentação do circuito de iluminação antes e depois da ação corretiva, fazendo a *estimativa* do período de funcionamento. Outras variações neste tipo de *MRE*, mostradas mais baixo no Quadro 2, mostram as circunstâncias nas

quais as *estimativas* aderem às orientações da Opção A.

Quadro 2
Exemplo de
iluminação

Situação	Medição vs. Estratégia de estimativa		Adesão à Opção A?
	Horas de funcionamento	Consumo da alimentação	
<i>MRE</i> reduz as horas de funcionamento	Medição	<i>Estimativa</i>	Sim
	<i>Estimativa</i>	Medição	Não
<i>MRE</i> reduz o consumo da alimentação	<i>Estimativa</i>	Medição	Sim
	Medição	<i>Estimativa</i>	Não
<i>MRE</i> reduz o consumo da alimentação e as horas de funcionamento:			
Alimentação do <i>período de referência</i> incerta, horas de funcionamento conhecidas	<i>Estimativa</i>	Medição	Sim
	Medição	<i>Estimativa</i>	Não
Alimentação conhecida mas horas de funcionamento incertas	Medição	<i>Estimativa</i>	Sim
	<i>Estimativa</i>	Medição	Não
Alimentação e horas de funcionamento pouco conhecidas	Medição	<i>Estimativa</i>	Não – Usar Opção B
	<i>Estimativa</i>	Medição	

Quando se planejar um procedimento com a Opção A, deve-se ter em consideração a taxa de variação do *consumo de referência* e o impacto energético da *MRE* antes de estabelecer

quais os parâmetros que devem ser medidos. Os três exemplos seguintes mostram a gama de cenários que podem surgir.

- A *MRE* reduz uma carga *constante* sem alterar as suas horas de funcionamento. Exemplo: os aparelhos de iluminação do edifício industrial são substituídos por outros mais eficientes, mas as horas de utilização da iluminação não mudam. Para medir razoavelmente o efeito do projeto, os níveis de alimentação dos aparelhos devem ser medidos nos *períodos de referência* e de *pós-retrofit*, enquanto que as horas de funcionamento são *estimadas* nos cálculos de energia.
- A *MRE* reduz as horas de funcionamento enquanto que a carga permanece inalterada. Exemplo: comandos automáticos desligam os compressores de ar durante os períodos desocupados. Para medir razoavelmente o efeito do projeto, o tempo de funcionamento dos compressores deve ser medido tanto no *período de referência* como no *pós-retrofit*, enquanto que a alimentação dos compressores pode ser estimada nos cálculos de energia.
- A *MRE* reduz a carga do equipamento e as horas de funcionamento. Exemplo: O reajuste da temperatura num sistema de irradiação de água quente reduz o sobre-aquecimento e induz os ocupantes a fechar as janelas, reduzindo desta forma a carga da caldeira e os períodos de funcionamento. Quando a carga e os períodos de funcionamento são variáveis e incertos, a Opção A não pode ser utilizada.

Geralmente, as condições de carga variável ou horas de funcionamento variáveis requerem medições e cálculos mais rigorosos.

4.8.1.1 Opção A: Cálculos

A Equação geral 1) na seção 4.1 é utilizada em todos os cálculos aderentes ao PIMVP. No entanto, com a Opção A, pode não haver necessidade de *ajustes, de rotina* ou *não de rotina*, dependendo do local do *limite de medição*, da natureza de quaisquer *valores estimados*, da duração do *pós-retrofit*, ou o espaço de tempo entre as medições do *período de referência* e as medições do *pós-retrofit*.

De forma semelhante as medições de *energia* do *período de referência* ou do *pós-retrofit* implicam apenas a medição de um parâmetro com a Opção A, e a estimativa do outro. Por conseguinte, a Equação 1) pode ser simplificada da seguinte forma:

$$\text{Opção A Economia} = \text{Valor estimado} \times (\text{Período de referência, parâmetro medido} \\ - \text{'pós-retrofit', parâmetro medido})$$

1d)

4.8.1.2 Opção A: Verificação da instalação

Uma vez que alguns valores podem ser *estimados* quando se usa a Opção A, é necessário ter muito cuidado com a revisão da concepção e instalação para garantir que as *estimativas* são realistas, realizáveis e baseadas em equipamento que deve realmente produzir a *economia* prevista.

A intervalos definidos durante o *pós-retrofit*, a instalação deve voltar a ser inspeccionada para verificar a existência permanente do equipamento e o seu funcionamento adequado, bem como a sua manutenção. Tais inspeções irão garantir a continuação do potencial para gerar a *economia* prevista e validar os *parâmetros estimados*. A frequência destas inspeções é determinada pela probabilidade de alterações do desempenho energético. Tal probabilidade pode ser estabelecida através das inspeções iniciais frequentes para estabelecer a estabilidade da existência e desempenho energético do equipamento.

Um exemplo de uma situação que necessita de uma nova inspeção de rotina é a *MRE* de um sistema de iluminação. Pode determinar a *economia* retirando uma amostra do desempenho energético dos aparelhos de iluminação e contando o número dos aparelhos em funcionamento. Neste caso, a existência permanente dos aparelhos e o funcionamento das lâmpadas são críticos para a determinação da *economia*. De forma semelhante, onde a

programação dos controles é assumida, mas sujeita a manipulações, registros regulares da programação dos controles ou o funcionamento real do equipamento podem limitar a incerteza dos *valores estimados*.

4.8.1.3 Opção A: Custo

A determinação da *economia* com a Opção A pode ser menos dispendiosa do que nas outras Opções, uma vez que o custo de *estimar* um parâmetro é muitas vezes significativamente menor do que o custo da medição. No entanto, em algumas situações onde a *estimativa* é a única possibilidade, uma boa *estimativa* pode ser mais dispendiosa do que se fosse possível a medição direta. A planificação dos custos para a Opção A deve ter em consideração todos os elementos: análise, *estimativa*, instalação dos medidores e o custo atual para ler e registrar dados.

4.8.1.4 Opção A: As melhores aplicações

Para além das melhores aplicações do isolamento da MRE da seção 4.8, mencionadas acima, a Opção A é melhor aplicada onde:

- A *estimativa* de parâmetros chave pode evitar *ajustes não de rotina* difíceis, quando alterações futuras acontecem dentro do *limite de medição*.
- A incerteza criada pelas *estimativas* é aceitável.
- A eficácia contínua da MRE pode ser avaliada por uma simples inspeção de rotina dos parâmetros *estimados*.
- A *estimativa* de alguns parâmetros é menos dispendiosa do que a sua medição na Opção B ou simulação na Opção D.
- Um parâmetro chave usado no cálculo da *economia* é bem conhecido. Os parâmetros chave são usados para julgar o desempenho energético de um projeto ou o desempenho de um promotor de contratos.

4.8.2 Opção B: Medição isolada de MRE: Medição de todos os parâmetros

Opção B, Medição isolada de MRE: Medição de todos os parâmetros, requer a medição de todas as quantidades de *energia* da Equação 1), ou de todos os parâmetros necessários para calcular a *energia*.

A *economia* criada pela maior parte dos tipos de MREs pode ser determinada com a Opção B. No entanto, o grau de dificuldade e os custos aumentam em função do aumento da complexidade da medição. Os métodos da Opção B serão geralmente mais difíceis e dispendiosos do que os da Opção A. Todavia, a Opção B produzirá resultados mais precisos onde as cargas e/ou aos padrões de *economia* são variáveis. Estes custos adicionais podem ser justificáveis se um promotor de contratos for responsável por todos os fatores que influenciem a *economia de energia*.

4.8.2.1 Opção B: Cálculos

A Equação geral 1) na seção 4.1 é utilizada em todos os cálculos aderentes ao PIMVP. No entanto, com a Opção B, pode não haver necessidade de *ajustes*, *de rotina* ou *não de rotina*, dependendo do local do *limite de medição*, a duração do *pós-retrofit*, ou o espaço de tempo entre as medições do *período de referência* e as medições do *pós-retrofit*. Por conseguinte, para a Opção B, a Equação 1) pode ser simplificada da seguinte forma:

Opção B *Economia* = *Energia do período de referência* - *Energia do pós-retrofit*

1e)

4.8.2.2 Opção B: As melhores aplicações

Para além dos métodos de medição isolada de MRE da seção 4.8, mencionados acima, a Opção B é melhor aplicada onde:

- Os medidores acrescentados para fins de isolamento serão empregues para outros fins tal como a informação operacional ou a faturação de um locatário.
- A medição de todos os parâmetros é menos dispendiosa do que a simulação na Opção D.
- A *economia* ou as operações dentro do *limite de medição* são variáveis.

4.8.3 Aspectos da medição isolada da MRE

A medição isolada da MRE requer habitualmente a adição de medidores especiais, quer seja a curto prazo ou numa base permanente. Estes medidores podem ser instalados durante uma auditoria da *energia* para ajudar a caracterizar o consumo de *energia* antes da concepção da *MRE*. Ou os medidores podem ser instalados para medir o desempenho energético do *período de referência* para um *Plano de M&V*.

Pode-se medir a temperatura, a umidade, o fluxo, a pressão, o tempo de funcionamento do equipamento, a energia elétrica ou térmica, por exemplo, no *limite de medição*. Deve-se seguir as boas práticas de medição para calcular a *economia de energia* com uma precisão razoável e que se possa repetir. As práticas de medição estão em evolução constante à medida que o equipamento de medição melhora. Por conseguinte, deve-se usar as práticas de medição mais recentes para apoiar a sua *economia* (ver também seção 8.11).

As seções seguintes definem alguns aspectos chave da medição a ter em consideração quando se utilizar técnicas de medição isoladas de MRE.

4.8.3.1 Medições de eletricidade

Para medir eletricidade com precisão mede-se a diferença de potencial (tensão), intensidade de corrente e fator de potência, ou valores eficazes rms¹⁰ e potência com um único instrumento. No entanto, só a medição da corrente e tensão podem definir adequadamente a potência em cargas puramente resistivas, tal como lâmpadas incandescentes e aquecedores com resistências sem motores de ventilação. Ao medir a alimentação, certifique-se de que a forma de onda elétrica da carga resistiva não é distorcida por outros dispositivos na *instalação*.

Medir a demanda elétrica ao mesmo tempo que a concessionária mede a demanda máxima para seu faturamento. Esta medição requer habitualmente o registro contínuo da demanda no submedidor. A partir deste registro, a demanda do submedidor pode ser lida para o momento em que a concessionária registrou a demanda máxima no seu medidor. A concessionária pode revelar a demanda máxima ou através das suas faturas ou através de um relatório especial.

Os métodos de medição da demanda variam de companhia para companhia. O método de medi-la num submedidor devia ser uma réplica do método que a empresa de serviços energéticos utiliza para o medidor de faturação relevante. Por exemplo, se a companhia de produção de energia calcula a demanda de pico usando intervalos fixos de 15 minutos, então o medidor de registro deve ser instalado para registrar dados para os mesmos intervalos de 15 minutos. No entanto, se a companhia utilizar um intervalo móvel para registrar dados de demanda de energia elétrica, o registrador de dados deve ter capacidades idênticas. Esta capacidade de intervalo móvel pode ser emulada, registrando dados em intervalos fixos de um minuto e depois recreando os intervalos da companhia de produção de energia usando um software de pós-processamento. Todavia, deve-se ter o cuidado de garantir que a instalação não contém combinações pouco comuns de equipamento que produzem cargas de pico máximo de um minuto que podem aparecer de

¹⁰ Os valores rms (valor médio quadrático) podem ser reportados por instrumentos digitais de estado sólido para explicar corretamente a rede eléctrica quando existem distorções de onda em circuitos de corrente alternada.

forma diferente num intervalo móvel ou num intervalo fixo. Depois de processar os dados com base nos intervalos da companhia de produção de energia, é preciso convertê-los em dados hora a hora para arquivo e para mais análises.

4.8.3.2 Calibração

Os medidores devem ser calibrados seguindo as recomendações do fabricante do equipamento e seguindo os procedimentos das autoridades de medição reconhecidas. Deve-se utilizar sempre que possível, equipamento de calibração certificado. Os sensores e o equipamento de medição devem ser selecionados com base na facilidade de calibração e na capacidade de manter a sua calibração. Uma solução atrativa é a Seleção de equipamento que se calibra a si mesmo.

Referências selecionadas sobre calibração são referidas no Capítulo 10, incluindo: ASTM (1992), Baker e Hurley (1984), Benedict (1984), Bryant e O'Neal (1992), Cortina (1988), Doebelin (1990), EEI (1981), Haberl et al. (1992), Harding (1982), Huang (1991), Hurley e Schooley (1984), Hurley (1985), Hyland e Hurley (1983), Kulwicki (1991), Leider (1990), Liptak (1995), Miller (1989), Morrissey (1990), Ramboz e McAuliff (1983), Robinson et al. (1992), Ross e White (1990), Sparks (1992), Wiesman (1989), Wise (1976), Wise e Soulen (1986).

4.9 Opção C: Toda a instalação

Opção C: Toda a instalação, implica a utilização de medidores da concessionária, medidores de toda a *instalação*, ou submedidores para avaliar o desempenho energético de toda a *instalação*. O *limite de medição* inclui ou toda a *instalação* ou uma grande parte desta. Esta Opção determina a *economia* colectiva de todas as *MREs* aplicados à parte da *instalação* monitorada pelo medidor de *energia*. Além disso, uma vez que os medidores de toda a *instalação* são usados, a *economia* reportada com a Opção C inclui os efeitos positivos ou negativos de todas as alterações feitas na *instalação* que não estão relacionadas com a *MRE*.

A Opção C destina-se a projetos onde a *economia* esperada é grande comparada com as variações de energia aleatórias ou inexplicáveis que ocorrem ao nível de toda a *instalação*. Se a *economia* é grande comparada com as variações inexplicadas nos dados de *período de referência de energia*, então será fácil identificar a *economia*. E também, quanto mais longo for o pós-retrofit da *economia* após a instalação da *MRE*, menos significativo é o impacto das variações inexplicáveis a curto-termo¹¹. Tipicamente a *economia* deve ultrapassar 10% do *período de referência de energia*, se se espera discriminar com confiança a *economia* a partir dos dados de *período de referência* quando o *pós-retrofit* é inferior a dois anos.

Identificar mudanças na *instalação* que irão requerer *ajustes não de rotina* é o desafio principal associado à Opção C, particularmente quando a *economia* é monitorada por longos períodos. (Ver também seção 8.2 sobre *ajustes não de rotina do período de referência*). Por conseguinte, deve-se realizar inspeções periódicas a todo o equipamento e operações da *instalação* durante o *pós-retrofit*. Estas inspeções identificam as mudanças nos *fatores estáticos* das condições do *período de referência*. Tais inspeções devem fazer parte do monitoramento regular para garantir que os métodos de funcionamento previstos ainda estão a ser seguidos.

A ASHRAE (2002) fornece especificações pormenorizadas para um método semelhante.

4.9.1 Opção C: Aspectos relativos aos dados de energia

Quando o fornecimento da concessionária é apenas medido num ponto central de um grupo de *instalações*, os submedidores são necessários em cada *instalação* ou grupo de *instalações* para os quais o desempenho energético individual é avaliado.

¹¹ Ver anexo B-5. A ASHRAE (2002) fornece métodos quantitativos para avaliar o impacto das variações nos dados do *consumo de referência* à medida que o *'pós retrofit'* se alonga.

Podem ser usados vários medidores para medir o fluxo de um tipo de *energia* numa instalação. Se um medidor fornece *energia* a um sistema que interage com outros sistemas de *energia*, direta ou indiretamente, os dados deste medidor devem ser incluídos na determinação da *economia* de toda a *instalação*.

Os medidores que servem fluxos de *energia* não-interativos, para os quais não é para ser determinada a *economia*, podem ser ignorados. Um exemplo, são os circuitos de iluminação exterior medidos separadamente.

Determinar a *economia* separadamente para cada medidor ou submedidor que servem uma *instalação*, de modo a que as mudanças no desempenho energético possam ser avaliadas para as partes da *instalação* medidas separadamente. No entanto, quando um medidor mede apenas uma pequena fração do consumo total de um tipo de *energia*, ele pode ser totalizado com os medidores maiores para reduzir as tarefas de gestão de dados. Quando os medidores elétricos são combinados desta forma, deve-se reconhecer que medidores de pequeno consumo não têm muitas vezes dados de demanda, o que faz com que os dados totalizados de consumo já não fornecem informação significativa sobre o fator de carga.

Se a leitura de vários medidores diferentes é feita em dias separados, então cada medidor que tenha um período de faturação único deve ser analisado separadamente. A *economia* resultante pode ser combinada após a análise de cada medidor individual, se as datas forem reportadas.

Se faltarem alguns dados de energia do *pós-retrofit*, pode ser criado um modelo matemático do *pós-retrofit* para completar os dados em falta. No entanto, a *economia* reportada para o período em falta deve identificar esta *economia* como "dados em falta".

4.9.2 Opção C: Aspectos relativos às faturas de energia

Os dados de energia para a Opção C provêm muitas vezes dos medidores da concessionária, ou através da leitura direta do medidor, ou a partir das faturas da concessionária. Quando as contas da concessionária são a origem dos dados, deve-se reconhecer que a necessidade da concessionária de leituras regulares do medidor não é habitualmente tão grande como as necessidades requeridas pela *M&V*. Às vezes as contas da concessionária contêm dados estimados, especialmente em contas pequenas. Às vezes não pode ser determinado a partir da própria conta se os dados foram estimados ou foram o resultado da leitura do medidor. Leituras de medidores estimadas não reportadas criam erros desconhecidos para os meses estimados e também para o mês seguinte à leitura real do medidor. No entanto, a primeira fatura com uma leitura real após uma ou mais estimativas irá corrigir os erros anteriores das quantidades de energia. Os relatórios de *economia* devem indicar quando as estimativas fazem parte dos dados da concessionária.

Quando uma empresa de eletricidade estima a leitura de um medidor, não existem dados válidos para o consumo de energia elétrica desse período.

A energia pode ser fornecida indiretamente a uma instalação, através de instalações de armazenamento no local, como para o óleo, propano ou carvão. Nestas situações, as faturas de entrega do fornecedor de energia não representam o consumo real da instalação durante o período entre entregas. Idealmente um medidor da instalação de armazenamento mede o consumo de energia. Todavia, quando não existe um medidor destes, ajustes ao nível de inventário para cada período de faturação devem completar as faturas.

4.9.3 Opção C: Variáveis independentes

Parâmetros que mudam regularmente e afetam o consumo de *energia* da *instalação*, são denominados *variáveis independentes* (ver também caixa de texto na seção 4.6.1). As *variáveis independentes* mais comuns são o clima, o volume de produção e a ocupação. O clima tem várias dimensões, mas para a análise de toda a instalação, o clima é apenas a temperatura exterior do ar medida nos termómetros de ampola seca. A produção tem muitas dimensões, dependendo da natureza do processo industrial. A produção é tipicamente expressa em unidades de massa ou unidades volumétricas de cada produto. A ocupação é definida de várias formas, tal como ocupação de um quarto de hotel, horas de

ocupação de um edifício de escritórios, dias ocupados (dias da semana/fins de semana), ou vendas de refeições de restaurantes.

A modelagem matemática pode avaliar *variáveis independentes* se estas forem cíclicas. A *análise de regressão* e outras formas de modelagem matemática podem determinar o número de *variáveis independentes* a considerar nos dados do *período de referência* (Ver anexo B-2). Os parâmetros, que têm um efeito significativo no consumo de *energia* do *período de referência*, devem ser incluídos nos *ajustes de rotina* durante a determinação da *economia*¹² usando a Equação 1a), b) ou c).

As *variáveis independentes* devem ser medidas e registradas ao mesmo tempo que os dados de *energia*. Por exemplo, os dados do clima devem ser registrados diariamente para que possam ser totalizados para corresponder ao período mensal de contagem de energia exato, que pode diferir do mês do calendário. A utilização de dados mensais médios da temperatura para um período de contagem de energia para um mês que não corresponda ao do calendário introduz erros desnecessários na análise.

4.9.4 Opção C: Cálculos e modelos matemáticos

Para a Opção C, os termos dos *ajustes de rotina* da Equação 1a) são calculados, desenvolvendo um modelo matemático válido para cada padrão de consumo de *energia* do medidor. Um modelo pode ser tão simples como uma lista ordenada de doze quantidades mensais de *energia* medidas sem quaisquer ajustes. No entanto, um modelo inclui frequentemente fatores derivados da *análise de regressão*, que correlacionam *energia* a uma ou mais *variáveis independentes* tal como a temperatura exterior, os *graus-dia*, a duração do período de contagem, a produção, a ocupação, e/ou o modo de funcionamento. Os modelos também podem incluir um conjunto diferente de parâmetros de regressão para cada gama de condições, tal como Verão ou Inverno em edifícios com variações de consumo de *energia* sazonais. Por exemplo, em escolas onde o consumo de *energia* do edifício difere entre o ano escolar e o período de férias, pode-se necessitar de modelos de regressão separados para os diferentes períodos de utilização (Landman e Haberl 1996a; 1996b).

A Opção C deve usar anos completos (12, 24, ou 36 meses) de dados contínuos, durante o *período de consumo de referência*, e dados contínuos durante os *períodos de Relatório* (Fels 1986). Os modelos, que usam outro número de meses, (9, 10, 13, ou 18 meses, por exemplo) podem criar um erro estatístico ao sub ou sobre representar modos normais de funcionamento.

Os dados do medidor podem ser de hora em hora, diariamente ou mensalmente de toda a *instalação*. Os dados de hora em hora devem ser combinados com os dados diários para limitar o número de *variáveis independentes* necessário para produzir um modelo razoável do *período de referência*, sem aumentar significativamente a incerteza na *economia* calculada (Katipamula 1996, Kissock et al. 1992). A variação dos dados diários resulta muitas vezes do *ciclo* semanal da maioria das instalações.

Muitos modelos matemáticos são adequados para a Opção C. Para selecionar aquele que se adequa mais à aplicação, deve-se considerar os índices de avaliação estatística, tal como R^2 e t (ver anexo B-2.2)¹³. O anexo B-2.2 ou a literatura estatística publicada podem ajudar a demonstrar a validade estatística do modelo selecionado.

¹² Todos os outros parâmetros que afetam o consumo de *energia* (isto é "*fatores estáticos*" ver caixa de texto na seção 4.6) devem ser medidos e registrados nos *períodos do consumo de referência* e de *análise* de modo a que possam ser feitos *ajustes não periódicos*, se necessário (ver seção 8.8)

¹³ Informações adicionais respeitantes a estes procedimentos de seleção podem ser encontrados em Reynolds e Fels (1988), Kissock et al. (1992, 1994) e no ASHRAE Handbook of Fundamentals (2005) Capítulo 32 (Manual de Princípios fundamentais do ASHRAE). ASHRAE (2002) também fornece vários testes estatísticos para validar a utilidade dos modelos de regressão derivados.

4.9.5 Opção C: Medição

A medição da *energia* em toda a *instalação* pode ser feita pelos medidores da concessionária. Os dados dos medidores da concessionária são considerados 100% precisos para a determinação da *economia* porque estes dados definem o pagamento da *energia*. Os dados dos medidores da concessionária são habitualmente necessários para satisfazer as regulamentações comerciais de precisão para a comercialização de produtos energéticos.

Os medidores dos fornecedores de *energia* podem estar equipados ou ser modificados para fornecer a saída de um impulso elétrico que pode ser registrado pelo equipamento de monitoramento da *instalação*. A constante de *energia* por impulso do transmissor de impulsos deve ser calibrada com uma referência conhecida, tal como dados semelhantes registrados pelo medidor da concessionária.

Os medidores individuais instalados pelo proprietário da *instalação* podem medir a *energia* de toda a *instalação*. A precisão destes medidores deve ser considerada no *Plano de M&V*, juntamente com uma forma de comparação das suas leituras com as leituras do medidor da concessionária.

4.9.6 Opção C: Custo

O custo da Opção C depende da origem dos dados de *energia* e da dificuldade em localizar *fatores estáticos* dentro do *limite de medição* para permitir *ajustes não de rotina* durante o *pós-retrofit*. O medidor da concessionária ou um submedidor já existente funciona bem se os dados do medidor forem corretamente registrados. Esta escolha não necessita de nenhum custo extra de medição.

O custo da localização de alterações nos *fatores estáticos* depende do tamanho da *instalação*, da probabilidade de alteração dos *fatores estáticos*, da dificuldade em detectar as alterações e dos procedimentos de vigilância já existentes.

4.9.7 Opção C: As melhores aplicações

A Opção C aplica-se melhor onde:

- O desempenho *energético* de toda a *instalação* será avaliado, não apenas o das *MREs*.
- Existem muitos tipos de *MREs* numa *instalação*.
- As *MREs* implicam atividades cujo consumo individual de *energia* é difícil de medir separadamente (formação do operador, melhoramento das paredes ou janelas, por exemplo).
- A *economia* é grande comparada com a variação dos dados no *período de referência*, durante o *pós-retrofit* (Ver anexo B-1.2).
- Quando as técnicas de medição isoladas de MRE (Opção A ou B) são excessivamente complexas. Por exemplo, quando *efeitos interativos* ou interações entre *MREs* são substanciais.
- Não são previstas grandes mudanças futuras na instalação durante o *pós-retrofit*.
- Um sistema de localização dos *fatores estáticos* pode ser estabelecido para permitir efetuar possíveis *ajustes* futuros *não de rotina*.
- Podem-se encontrar correlações razoáveis entre o consumo de *energia* e outras *variáveis independentes*.

4.10 Opção D: Simulação calibrada

Opção D, Simulação calibrada, implica a utilização de um software de simulação computadorizada para prever a *energia* da *instalação* para um ou ambos os termos da Equação 1). Um modelo de simulação deve ser "calibrado" de modo a prever um padrão de *energia* que corresponda aproximativamente aos verdadeiros dados medidos.

A Opção D pode ser usada para avaliar o desempenho energético de todas as *MREs* numa *instalação*, semelhante à Opção C. No entanto, a ferramenta de simulação da Opção D permite também estimar a *economia* atribuível a cada *MRE* num projeto de múltiplas *MREs*.

A Opção D também pode ser usada para avaliar apenas o desempenho energético de sistemas individuais numa *instalação*, semelhante às Opções A e B. Neste caso, o consumo de *energia* do sistema deve ser isolado do resto da instalação através de medidores apropriados, como discutido nas seções 4.4 e 4.8.

A Opção D é útil onde:

- Os dados do período de referência (“baseline”) não existem ou não estão disponíveis. Tal situação pode surgir por:
 - Uma nova instalação contendo medidas de eficiência *energética*, que precisam de ser avaliadas separadamente do resto da instalação, ou
 - Um agrupamento de *instalações* com medição central, onde não existe nenhum medidor individual da *instalação* no *período do consumo de referência*, mas onde medidores individuais estarão disponíveis depois da instalação da *MRE*.
- Os dados *do pós-retrofit* (“pós retrofit”) não estão disponíveis ou estão escondidos por fatores difíceis de quantificar. Às vezes é demasiado difícil prever como as futuras alterações da *instalação* podem afetar o consumo de *energia*. Alterações do processo industrial ou novo equipamento tornam frequentemente o cálculo dos *ajustes não de rotina* tão inexato que as Opções A, B ou C iriam criar um erro excessivo na determinação da *economia*.
- Quando se deseja determinar a *economia* associada a *MREs* individuais, mas as medições com as Opções A ou B são muito difíceis ou dispendiosas.

Se a *energia* do *pós-retrofit* for prevista pelo software de simulação, a *economia* determinada persiste apenas se os métodos de funcionamento simulados continuarem. Inspeções periódicas irão identificar as alterações das condições do *período de referência* e o desempenho energético do equipamento modelado (ver também seção 4.8.1.2). A simulação deverá ser ajustada em conformidade.

A Opção D é a abordagem principal de *M&V* para avaliar as inclusões de eficiência *energética* na concepção de novas *instalações*. A seção da Parte I do Volume III do PIMVP intitulada “Conceitos e opções para a determinação da *economia* em novas construções” fornece orientação pormenorizada acerca de uma variedade de técnicas de *M&V* para novos edifícios. A Parte I do Volume III apresenta em particular os desafios do estabelecimento de um *período de referência* para um edifício menos eficiente do que aquele que foi realmente construído.

A modelagem e calibração precisas feitas por computador aos dados de *energia* medidos são o maior desafio associado à Opção D. Para controlar os custos deste método, mantendo uma precisão razoável, devem ser considerados os seguintes pontos quando se utilizar a Opção D:

- A análise da simulação deve ser efetuada por pessoal qualificado, com experiência tanto em software como em técnicas de calibração.
- Os dados de entrada devem representar a melhor informação disponível incluindo, sempre que possível, os dados de desempenho energético reais disponíveis dos componentes chave da instalação
- As entradas da simulação devem ser ajustadas de modo a que os seus resultados correspondam aos dados da demanda e do consumo das contas mensais da concessionária, dentro de u’a margem de tolerância aceitável (isto é, “calibrada”). Uma estreita harmonia entre a *energia* anual total prevista e real é habitualmente uma demonstração insuficiente de que a simulação prevê adequadamente o comportamento *energético* da instalação (Ver seção 4.10.2).

- A Opção D requer uma documentação cuidadosa. Devem existir versões em papel e eletrônicas das cópias da simulação, pesquisa de dados e dados de contagem ou monitoramento usados para definir os valores de entrada e calibrar o modelo de simulação. O número da versão do software disponível deve ser declarado publicamente, de modo a que outra pessoa possa rever os cálculos.

A ASHRAE (2002) fornece pormenores técnicos acerca de um método semelhante e de modelos de simulação de calibragem das contas da concessionária.

Tipos de edifícios que não são facilmente simulados incluem aqueles com:

- grandes átrios,
- uma parte significativa do espaço está em parte ou completamente debaixo do solo,
- formas exteriores pouco comuns
- configurações de sombra complexas, ou
- um grande número de zonas distintas de controle da temperatura.

Algumas MREs de edifícios não podem ser facilmente simuladas, tais como:

- adição de barreiras radiantes em sótãos, e
- algumas alterações complexas dos sistema de HVAC.

4.10.1 Opção D: Tipos de programas de simulação de edifícios

Informação acerca dos diferentes tipos de modelos de simulação de edifícios pode ser encontrada no Capítulo 32 do Manual ASHRAE (2005) e na seção 6.3 da ASHRAE (2002). O Ministério da Energia dos Estados Unidos (United States Department of Energy - DOE) também mantém uma lista atualizada de software do domínio público e programas registrados de simulação de energia de edifícios no endereço www.eren.doe.gov/buildings/tools_directory.

Programas de simulação de edifícios inteiros utilizam habitualmente técnicas de cálculo de hora em hora. No entanto, o procedimento simplificado de análise de energia da ASHRAE também pode ser usado se as perdas de calor do edifício, ganhos de calor, cargas internas e sistemas de HVAC são simples. O procedimento da ASHRAE comporta métodos modificados e modelos simplificados dos sistemas de HVAC.

Outros tipos de programas para fins especiais são usados para simular o consumo de *energia* e o funcionamento de dispositivos ou processos industriais. Os componentes dos modelos de HVAC são fornecidos pela ASHRAE na sua caixa de ferramentas HVAC02 (Brandemuehl 1993), e para equipamento de caldeira/refrigerador na caixa de ferramentas HVAC01 (Bourdouxhe 1994a, 1994b, 1995). Modelos simplificados de componentes de ar lateral HVAC estão igualmente disponíveis num relatório feito por Knebel (1983). Equações para numerosos modelos diferentes foram igualmente identificadas (ASHRAE 1989, SEL 1996).

Qualquer software utilizado deve ser bem documentado e bem compreendido pelo usuário.

4.10.2 Opção D: Calibração

A *economia* determinada com a Opção D baseia-se em uma ou mais estimativas complexas de consumo de *energia*. A precisão da *economia* depende do bom desempenho dos modelos de simulação do equipamento e da boa calibração do desempenho energético contabilizado.

A calibração é obtida, verificando se o modelo de simulação prevê razoavelmente os padrões de *energia* da *instalação*, comparando os resultados do modelo a um conjunto de dados de calibração. Estes dados de calibração incluem dados de *energia* medidos, *variáveis independentes* e *fatores estáticos*.

A calibração de simulações de edifícios é feita habitualmente com 12 faturas mensais emitidas pelo comercializador de energia. Estas faturas devem ser de um período de

funcionamento estável. Num novo edifício, pode levar alguns meses antes da ocupação completa e antes que o pessoal aprenda as melhores formas de fazer funcionar a instalação. Os dados de calibração devem ser documentados no *Plano de M&V* juntamente com a descrição das suas origens.

Dados detalhados de funcionamento da *instalação* ajudam a desenvolver os dados de calibração. Estes dados podem incluir as características de funcionamento, ocupação, clima, cargas e eficiência do equipamento. Algumas variáveis podem ser medidas por curtos intervalos (dia, semana ou mês) ou extraídas de registros de funcionamento existentes. A precisão dos medidores deve ser verificada para as atividades críticas de medição. Se os recursos o permitirem, os sistemas de ventilação e infiltração dos edifícios devem ser medidos porque estas quantidades variam frequentemente muito em relação às estimativas. Medições de um dia irão melhorar a precisão da simulação sem muitos custos adicionais. Testes em funcionamento/parado podem medir o sistema de iluminação, cargas genéricas e centros de controle dos motores. Estes testes podem ser realizados durante um fim-de-semana usando um registrador de dados ou um sistema de gestão técnica do edifício para registrar o consumo de *energia* de toda a *instalação*, geralmente em intervalos de um minuto. Às vezes, registradores portáteis baratos, que são sincronizados numa determinada base temporal comum, são igualmente eficazes para medições a curto prazo (Benton et al. 1996, Houcek et al. 1993, Soebarto 1996).

Depois de reunir o máximo de dados de calibração possível, os passos da calibração da simulação estão descritos abaixo.

1. Assumir outros parâmetros de entrada necessários e documentá-los.
2. Sempre que possível, reunir dados climáticos reais do período de calibração, especialmente se as condições climáticas variarem significativamente em relação aos dados climáticos do ano de referência usado nas simulações de base. No entanto, obter e preparar dados climáticos reais para utilizar numa simulação pode levar muito tempo e ser dispendioso¹⁴. Se desenvolver um arquivo de dados climáticos reais for demasiado difícil, então é preciso ajustar um arquivo de dados climáticos tipo para que se pareça com um arquivo de dados climáticos reais, que utilize métodos estatísticos válidos. Um desses métodos válidos pode ser encontrado no programa WeatherMaker, que faz parte do software "U.S. National Renewable Energy Laboratory's software package Energy-10"¹⁵.
3. Realizar a simulação e verificar que esta prevê parâmetros de funcionamento tal como a temperatura e a umidade.
4. Comparar os resultados de *energia* simulados com os dados de *energia* contados do período de calibração, numa base de hora a hora ou mensal.
5. Avaliar padrões nas diferenças entre os resultados da simulação e os dados de calibração. Gráficos de barras, gráficos de tempo mensais e gráficos de dispersão x-y mensais ajudam a identificar os padrões de erro. O capítulo 6.3 da ASHRAE (2002), fornece mais informações acerca da precisão da calibração. A precisão da calibração deve ser estabelecida no *Plano de M&V* para adaptar o orçamento de *M&V*.
6. Rever os dados de entrada no passo 1 e repetir os passos 3 e 4 para trazer os resultados previstos nas especificações de calibração no passo 5, em cima. Recolher mais dados de funcionamento reais da instalação para ir de encontro às especificações de calibração, se necessário.

¹⁴ O processo é descrito em profundidade no Vol. 20, No. 1, do *User News*, que é publicado pelo Lawrence Berkeley National Laboratory e pode-se encontrar em <http://gundog.lbl.gov> em Newsletters. Dados climáticos gratuitos reais estão disponíveis no U.S. D.O.E. em http://www.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weatherdata/weather_request.cfm. Dados climáticos reais também podem ser comprados. Uma fonte é o U.S. National Climatic Data Center em <http://wf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/climatedata.html>.

¹⁵ O pacote de programas Energy-10 está disponível no endereço <http://www.nrel.gov/buildings/energy10/>.

A criação e a calibração de uma simulação podem demorar muito tempo. Utilizar dados de *energia* mensais em vez de hora a hora para limitar o esforço necessário para a calibração.

4.10.3 Opção D: Cálculos

Seguindo a calibração de um modelo de simulação, a Equação 1) pode ser aplicada usando duas versões do modelo calibrado: uma com as *MREs* e outra sem elas. Ambas as versões usariam o mesmo conjunto de condições de funcionamento. A Equação 1) torna-se então:

$$\begin{aligned} \text{Economia} = & \text{Energia do período de referência do modelo calibrado sem MREs} \\ & - \text{Energia do pós-retrofit do modelo calibrado com MREs} \end{aligned} \quad 1f)$$

Esta versão da Opção D da Equação 1) presume que o 'erro' de calibração afeta igualmente ambos os modelos.

Se os dados reais de *energia* estão disponíveis para o *período de referência* ou para o *pós-retrofit*, o termo do modelo calibrado associado na Equação 1f) pode ser substituído pela *energia* real medida. No entanto, deve-se ajustar os cálculos para o erro de calibração em cada mês no período de calibração. A Equação 1f) torna-se então, para o caso de se utilizar dados reais do período de calibração a partir do *pós-retrofit*.

$$\begin{aligned} \text{Economia} = & \text{Energia do período de referência do modelo calibrado sem MREs} \\ & - \text{Energia real do período de calibração (com MREs)} \\ & +/- \text{ Erro de calibração na leitura de calibração correspondente} \end{aligned} \quad 1g)$$

4.10.4 Opção D: Relatório de *economia* contínuo

Se é necessária a avaliação do desempenho energético durante muitos anos, a Opção D pode ser usada para o primeiro ano depois das *MREs* estarem instaladas. Nos anos seguintes, a Opção C pode ser menos dispendiosa do que a Opção D, se se usar como *período de referência* os dados do medidor do primeiro ano de funcionamento regular após a instalação. Então a Opção C é utilizada para determinar se o consumo de *energia* muda após o primeiro ano de funcionamento depois da *MRE* ter sido instalada. Nesta situação, o consumo de *energia* durante o primeiro ano de funcionamento regular seria usado: a) para calibrar um modelo de simulação da Opção D e b) para estabelecer um *período de referência* da Opção C para medir *economia* (ou perdas) adicional no segundo ano e seguintes.

4.10.5 Opção D: As melhores aplicações

A Opção D é utilizada habitualmente, onde nenhuma outra opção é praticável.

A Opção D é melhor aplicada onde:

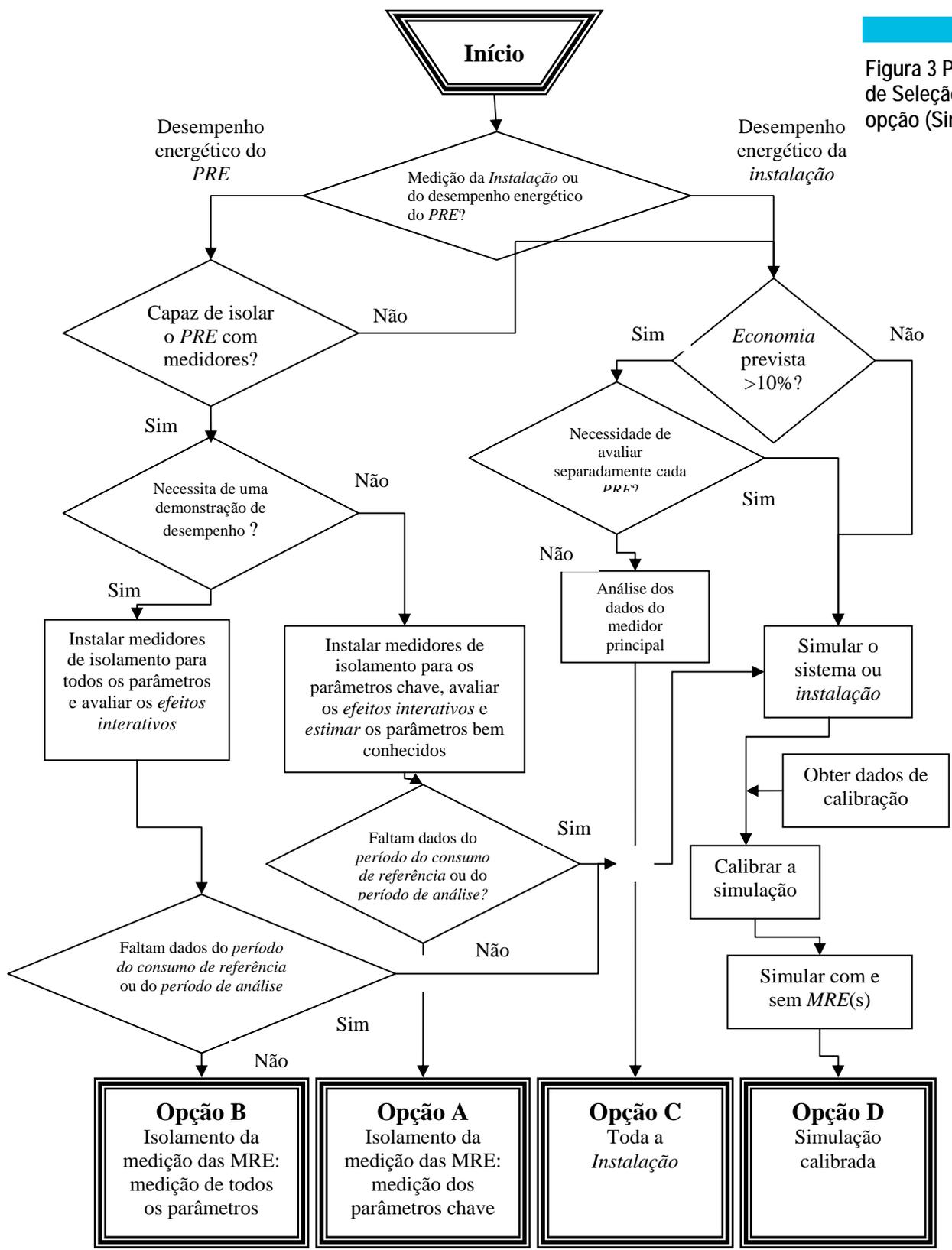
- Os dados de *energia* do *consumo de referência* ou os dados de *energia do pós-retrofit*, mas não ambos, estão indisponíveis ou não são de confiança.
- Existem demasiadas *MREs* para avaliar, usando as Opções A ou B.
- As *MREs* implicam atividades difusas, que não podem ser facilmente isoladas do resto da *instalação*, tal como formação do operador ou melhoramentos das paredes e janelas.
- O desempenho energético de cada *MRE* será estimado individualmente dentro de um projeto de múltiplas *MRE*, mas os custos das Opções A ou B são excessivos.
- Interações entre as *MREs* ou os *efeitos interativos* da *MRE* são complexos, fazendo com que as técnicas de isolamento das Opções A e B sejam impraticáveis.
- São esperadas grandes alterações futuras na instalação durante o *pós-retrofit*, e não há forma de seguir as alterações e/ou avaliar o seu impacto no consumo de *energia*.

- Um profissional experiente em simulação de *energia* é capaz de recolher dados de entrada adequados para calibrar o modelo de simulação.
- A *instalação* e as *MREs* podem ser modeladas por software de simulação bem documentado.
- O software de simulação prevê dados medidos de calibração com uma precisão aceitável.
- Apenas o desempenho energético de um ano é medido, imediatamente após a instalação e comissionamento do programa de gestão de *energia*.

4.11 Guia de Seleção de opções

A seleção de uma opção do PIMVP é uma decisão que é tomada pelo técnico de concepção do programa de *M&V* para cada projeto, baseado em todo o conjunto de condições do projeto, análises, orçamentos e avaliação profissional. A Figura 3 descreve a lógica comum usada na Seleção da melhor opção.

Figura 3 Processo de Seleção da opção (Simplifi



É impossível generalizar acerca da melhor opção de PIMVP para qualquer tipo de situação. No entanto, algumas características chave do projeto sugerem opções frequentemente mais favorecidas como mostra o Quadro 3 mais abaixo.

Quadro 3
Opções
Sugeridas
(não todas) -
Marcadas
com um X

Craterísticas da MRE do projeto	Opção sugerida			
	A	B	C	D
Necessidade de avaliar individualmente as <i>MREs</i>	X	X		X
Necessidade de avaliar apenas o desempenho energético de toda a instalação			X	X
<i>Economia</i> prevista inferior a 10% do medidor da concessionária	X	X		X
Múltiplas <i>MREs</i>	X		X	X
A importância de algumas variáveis de <i>energia</i> não é clara		X	X	X
Os <i>efeitos interativos</i> da MRE são significativos ou não podem ser medidos			X	X
Muitas alterações futuras previstas dentro do <i>limite de medição</i>	X			X
É necessária uma avaliação do desempenho energético a longo prazo	X		X	
Dados do período de referência indisponíveis				X
Pessoal sem formação técnica devem compreender os relatórios	X	X	X	
Competência de contagem disponíveis	X	X		
Competências de simulação por computador disponíveis				X
Experiência de leitura das faturas de energia de empresas comercializadoras de energia e realização de análise de regressão disponíveis			X	

A preparação de um *Plano de M&V* é uma etapa recomendada para a determinação da *economia*. A planificação antecipada garante que todos os dados necessários para a determinação da *economia* estarão disponíveis após a implementação da *MRE(s)*, dentro de um orçamento aceitável.

Os dados do *período de referência* e os pormenores das *MREs* podem ser perdidos depois de um certo tempo. Por isso é preciso registrá-los para referência futura no caso das condições se alterarem ou as *MREs* falharem. A documentação deve ser fácil de encontrar e fácil de compreender pelos verificadores e outros, porque podem passar anos antes destes dados serem necessários.

Um *Plano de M&V* completo deve incluir a discussão dos seguintes 13 tópicos:

1. **Objetivo da MRE** Descrever a *MRE*, o resultado pretendido e os procedimentos da colocação em serviço, que serão utilizados para verificar o sucesso da implementação de cada *MRE*. Identificar todas as alterações planeadas às condições do *período de referência*, tal como a regulação da temperatura de um edifício desocupado.
2. **Opção do PIMVP selecionada e Limite de medição** Especificar que opção do PIMVP, definida nas seções 4.8 – 4.10, será usada para determinar a *economia*. Esta identificação deve incluir a data de publicação ou o número da versão e número do Volume da edição do PIMVP a ser seguida (Volume I do PIMVP, EVO 10000-1:2007), por exemplo). Identificar o *limite de medição* da determinação da *economia*. O limite pode ser tão estreito quanto o fluxo de *energia* através de um tubo ou condutor elétrico, ou tão largo quanto o consumo total de energia de um ou muitos edifícios. Descrever a natureza de quaisquer *efeitos interativos* para além do *limite de medição* juntamente com os seus efeitos possíveis (ver seção 4.4).
3. **Referência: Período, energia e condições** Documentar as condições do *período de referência* da instalação e os dados de *energia*, dentro do *limite de medição*. (Nos *contratos de desempenho energético*, a *energia do período de referência* e as condições do *período de referência* podem ser definidas ou pelo proprietário ou pela *ESCO*, dando assim à outra parte a oportunidade adequada de as verificar.)

Uma auditoria energética utilizada para estabelecer os objetivos de um programa de *economia* ou os termos de um *contrato de desempenho energético* fornecem habitualmente a maioria senão toda a documentação do *período de referência* necessária ao *Plano de M&V*. Esta documentação do *período de referência* deve incluir:

- a) Identificação do *período do consumo de referência* (seção 4.5.1)
- b) Todos os dados de consumo e demanda de *energia* do *período de referência*
- c) Todos os dados das *variáveis independentes* que coincidem com os dados de *energia* (ex., taxa de produção, temperatura ambiente)
- d) Todos os *Fatores estáticos* que coincidem com os dados de *energia*:
 - Tipo, densidade e períodos de ocupação
 - Condições de funcionamento para cada período de funcionamento do *período de referência* e estação do ano, outras que não as *variáveis independentes*. (Por exemplo, num processo industrial, as condições de funcionamento do *período de referência* podem incluir tipos de produtos, tipo de matéria-prima e número de turnos de produção por dia. Num edifício, as condições de funcionamento do *período de referência* podem incluir o nível de iluminação, umidade da temperatura ambiente e níveis de ventilação. Uma avaliação do conforto térmico e/ou da qualidade do ar interior (QAI) em recintos fechados podem igualmente ser úteis em casos onde o novo sistema atue de forma diferente do velho sistema ineficiente. Ver Volume II do PIMVP.

- Descrição de quaisquer condições do *período de referência* que ficam abaixo das condições requeridas. Por exemplo, o espaço está mal aquecido durante o *período de referência*, mas a *MRE* irá restaurar a temperatura desejada. Os pormenores de todos os ajustes que são necessários aos dados de *energia* do *período de referência* para refletir os melhoramentos do programa de gestão de energia previstos das condições do *período de referência*.
- Tamanho, tipo e isolamento de quaisquer elementos relevantes que envolvem o edifício tal como paredes, telhados, portas, janelas.
- Inventário do equipamento: dados da placa de identificação, localização, condição. Fotografias ou vídeos são formas eficazes de registrar o estado do equipamento.
- Práticas de funcionamento do equipamento (horários e pontos de acerto, temperaturas e pressões reais)
- Problemas significativos do equipamento ou avarias durante o *período do consumo de referência*.

A documentação do *período de referência* exige geralmente auditorias bem documentadas, sondagens, inspeções e/ou atividades de contagem a curto prazo. A extensão desta informação é determinada pelo *limite de medição* escolhido ou o propósito da determinação da *economia*.

Quando os métodos de *M&V* de toda a *instalação* são empregues (seção 4.9 ou 4.10), todo o equipamento e condições da *instalação* devem ser documentados.

4. **“Pós Retrofit”** Identificar o *pós-retrofit*. Este período pode ser tão curto como uma medição instantânea durante a colocação em serviço de uma *MRE*, ou tão longo quanto o tempo necessário para recuperar o custo do investimento do programa da *MRE* (ver seção 4.5.2).
5. **Base para o ajuste** Declarar o conjunto de condições ao qual todas as medições de *energia* serão ajustadas. As condições podem ser as do *pós-retrofit* ou um outro conjunto de condições fixas. Como discutido na seção 4.6, esta escolha determina se a *economia* é reportada como *energia evitada* (4.6.1) ou como *economia normalizada* (4.6.2).
6. **Procedimento de análise** Especificar os procedimentos exatos de análise de dados, algoritmos e hipóteses a ser usadas em cada relatório de *economia*. Para cada modelo matemático usado, reportar todos os seus termos e a gama de *variáveis independentes* para o qual é válido.
7. **Preços da energia** Indicar os preços da energia que serão empregues para avaliar a *economia*, e se for o caso, como a *economia* será ajustada se os preços mudarem no futuro (ver seção 8.1).
8. **Especificações do medidor** Especificar os pontos de contagem e período(s) se a contagem não for contínua. Para os medidores que não são das empresas comercializadoras de energia, especificar: as características da contagem, a leitura do medidor e protocolo de confirmação, procedimentos da colocação em serviço do medidor, processo de calibração de rotina e método de tratamento de dados perdidos (ver seção 8.11.1).
9. **Responsabilidades de monitoramento** Atribuir as responsabilidades de reportar e registrar os dados de *energia*, *variáveis independentes* e *fatores estáticos* dentro do *limite de medição* durante o *pós-retrofit*.
10. **Precisão esperada** Avaliar a precisão esperada associada à medição, obtenção de dados, amostragem e análise de dados. Esta avaliação deve incluir medidas qualitativas e todas as medidas quantitativas possíveis do nível de incerteza nas medições e ajustes a usar no relatório de *economia* planejado (ver seção 8.3 e anexo B).
11. **Orçamento** Definir o orçamento e os recursos necessários para a determinação da *economia*, os custos iniciais estabelecidos e os custos contínuos durante o *pós-retrofit*.

12. **Formato do relatório** Indicar como os resultados serão reportados e documentados (ver Capítulo 6). Deve ser incluída uma amostra de cada relatório.
13. **Garantia de qualidade** Especificar os procedimentos de garantia de qualidade que serão empregues para os relatórios de *economia* e todos os passos provisórios na preparação dos relatórios.

Dependendo das circunstâncias de cada projeto, alguns tópicos específicos adicionais devem também ser discutidos num *Plano de M&V* completo:

Para a Opção A:

- **Justificação de estimativas** Apresentar os valores a ser usados para todos os *valores estimados*. Explicar a origem destes *valores estimados*. Mostrar a importância global destas *estimativas* em função do total da *economia* prevista, reportando a gama de *economias* possível associada à gama de valores plausíveis dos parâmetros *estimados*.
- **Inspecções periódicas** Definir as inspecções periódicas que serão efetuadas durante o *pós-retrofit* para verificar se o equipamento ainda está no lugar e a funcionar como previsto quando se determinou os valores *estimados*.

Para a Opção D:

- **Nome do software** Reportar o nome e o número da versão do software de simulação a ser utilizado.
- **Dados de entrada/saída** Fornecer uma cópia em papel e uma cópia eletrônica dos arquivos de entrada, dos arquivos de saída e dos arquivos dos dados climáticos usados para a simulação.
- **Dados medidos** Anotar quais os parâmetros de entrada que foram medidos e quais os que foram estimados. Descrever o processo de obtenção dos dados medidos.
- **Calibração** Reportar os dados de *energia* e os de funcionamento utilizados para a calibração. Reportar a precisão com a qual os resultados da simulação correspondem aos dados de *energia* da calibração.

Quando a natureza das futuras alterações pode ser antecipada, definir métodos para fazer os *ajustes não de rotina* adequados.

Os requerimentos de tempo e orçamento (item 11, mencionado acima) são frequentemente sub-estimados, o que leva a uma coleção de dados incompleta. Uma determinação da *economia* menos precisa e menos dispendiosa é melhor do que uma determinação incompleta ou mal feita, que é teoricamente mais precisa mas mal fundamentada. A seção 8.5 trata dos compromissos entre custos e benefícios.

Questões que se levantam no momento do desenvolvimento dos *Planos de M&V* são discutidas nos exemplos mostrados no anexo A. A página web da Efficiency Valuation Organization (www.evo-world.org) contém uma seleção crescente de amostras de *Planos de M&V*.

CAPÍTULO 6 RELATAR A *M&V*

Os relatórios de *M&V* devem ser preparados e apresentados como definido no *Plano de M&V* (Capítulo 5)

Relatórios completos de *M&V* devem incluir pelo menos:

- Os dados observados durante o *pós-retrofit*, o início e o fim do *período de medição* em pontos no tempo, os dados de *energia* e o valor das *variáveis independentes*
- Descrição e justificação de quaisquer correções feitas aos dados observados
- Para a Opção A os *valores estimados* acordados
- Tabela de preços da *energia* utilizada
- Todos os pormenores de qualquer *ajuste não periódico do período de referência* efetuado. Os pormenores devem incluir uma explicação da alteração das condições desde o *período do período de referência*, todos os fatos e suposições observados e os cálculos de engenharia, que levaram ao ajuste.
- A *Economia* calculada em unidades de *energia* e monetárias.

Os relatórios de *M&V* devem ser redigidos de modo a serem facilmente compreendidos pelos seus leitores.

Os gestores de *energia* devem rever os relatórios de *M&V* com o pessoal da *instalação*. Tais revisões podem revelar informações úteis acerca da forma como a instalação utiliza a *energia* ou o modo como o pessoal pode beneficiar de mais conhecimentos acerca das características do consumo de *energia* da sua *instalação*.

O PIMVP é uma estrutura de definições e métodos para avaliar adequadamente a *economia* no consumo de energia, de água ou na demanda. O PIMVP guia os usuários no desenvolvimento de *Planos de M&V* para projetos específicos. O PIMVP foi redigido para permitir o máximo de flexibilidade na criação dos *Planos de M&V*, sendo ao mesmo tempo preciso, completo, conservador, consistente, relevante e transparente (Capítulo 3).

Os usuários que adiram ao PIMVP devem:

1. Identificar a pessoa responsável pela aprovação do *Plano de M&V* específico para o local e certificar-se de que o *Plano de M&V* é seguido durante o tempo do *pós-retrofit*.
2. Desenvolver um *Plano de M&V* completo que:
 - indique claramente a data de publicação ou o número da versão da edição e volume do PIMVP a ser seguido,
 - use terminologia consistente com as definições da versão citada do PIMVP,
 - inclua toda a informação mencionada no capítulo do *Plano de M&V* (Capítulo 5 da presente edição),
 - seja aprovado por todas as partes interessadas na adesão ao PIMVP, e
 - seja consistente com os princípios de *M&V* mencionados no Capítulo 3.
3. Seguir o *Plano de M&V* aprovado, aderente ao PIMVP .
4. Preparar relatórios de *M&V* contendo a informação mencionada no capítulo Reportar a *M&V* (Capítulo 6).

Os usuários que desejem especificar a utilização do PIMVP num contrato de desempenho energético ou mercado de emissões pode usar a seguinte frase, “A determinação da economia de energia e monetária real seguirá as melhores práticas em vigor, como definido no Volume I do PIMVP, EVO 10000 - 1:2007.”

A especificação pode até incluir “O Plano de M&V deverá estar em conformidade com o Volume I do PIMVP, EVO 10000 - 1:2007 e ser aprovado por.....” e pode-se também, se já se souber no momento da aprovação do contrato, acrescentar, “segundo a Opção ... do PIMVP.”

Para além da estrutura de base descrita no Capítulo 4, existe um certo número de questões que geralmente se levantam, independentemente da Opção do PIMVP escolhida. Cada uma destas questões é discutida neste capítulo.

8.1 Aplicação dos preços da energia

A *economia*¹⁶ dos custos é determinada, aplicando o programa de preços adequado na seguinte equação:

$$\text{Economia dos custos} = C_b - C_r$$

2)

Onde:

C_b = Custo da *energia* do período de referência mais quaisquer *ajustes*¹⁷

C_r = Custo da *energia* do pós-retrofit mais quaisquer *ajustes*

Os custos devem ser determinados, aplicando o mesmo programa de preços no cálculo de C_b e C_r .

Quando as condições do pós-retrofit são usadas como base para reportar a *economia* de energia (isto é, consumo de *energia evitado* seção 4.6.1), o programa de preços do pós-retrofit é normalmente utilizado para calcular o “custo evitado.”

Exemplos da aplicação dos preços da energia podem ser encontrados nos exemplos do anexo A.

8.1.1 Programa de preços

O programa de preços deve ser obtido no comercializador de energia. Este programa de preços deve incluir todos os elementos que são afetados por quantidades medidas, tal como consumo, Demanda, fator de potência, demanda a faturar (ver Capítulo 9 – Definições), ajuste dos preços dos combustíveis, descontos de pagamento antecipado e taxas.

Os programas de preços podem mudar em instantes de tempo, diferentes das datas de leitura dos medidores. Por conseguinte, C_b e C_r na Equação 2) devem ser calculados para períodos exatamente alinhados com as datas de alteração dos preços. Este alinhamento pode exigir uma atribuição estimada de quantidades aos períodos anteriores e posteriores da data de alteração do preço. A metodologia de atribuição deve ser a mesma, que é empregue pelo fornecedor de *energia*.

O programa de preço selecionado pode ser fixado na data de instalação da MRE ou alterado de acordo com a alteração dos preços. (O aumento dos preços irá encurtar o período de reembolso da MRE. A baixa dos preços irá aumentar o período de reembolso apesar dos custos totais de *energia* caírem quando os preços caem.) Quando houve investimento de terceiros na *instalação* de um proprietário, o programa de preços para reportar a *economia* não deve normalmente descer abaixo do preço que prevalecia no momento do compromisso com o investimento.

¹⁶ Ver Capítulo 9 para a definição de “*economia*.” Ver também a seção 4.6 para a explicação da diferença entre *economia* de energia e energia evitada ou *economia* normalizada. A mesma explicação aplica-se à diferença entre *economia* de custos e custos evitados ou *economia* de custos normalizada.

¹⁷ Os *ajustes* são os adequados descritos no Capítulo 4.

8.1.2 Preço marginal

Um procedimento alternativo para avaliar a *economia* implica a multiplicação das unidades de *energia poupadas* pelo *preço marginal* da *energia*. É preciso garantir que o *preço marginal* seja válido para o nível de consumo e para a Demanda dos *períodos de referência e de Relatório*.

A média ou preços combinados, determinados, dividindo o custo cobrado pelo consumo medido, são muitas vezes diferentes dos *custos marginais*. Nesta situação, os preços médios criam relatos imprecisos de *economia* de custos e não devem ser usados.

8.1.3 Troca de fonte de energia e mudanças no programa de preços

A estratégia geral da seção 8.1 de aplicação do mesmo programa de preços à *energia* do *período de referência* e do *pós-retrofit*, introduz algumas considerações especiais quando a *MRE* cria uma mudança no tipo de combustível ou uma alteração no programa de preços entre o *período de referência* e o *pós-retrofit*. Tais situações surgem, por exemplo, quando uma *MRE* inclui uma mudança para um combustível de custo inferior ou altera o padrão do consumo de *energia* de tal modo que a instalação se qualifica para um programa de preços diferente.

Em tais situações, deve-se usar o programa de preços do *período de referência* para determinar C_b na Equação 2). O programa de preços do *pós-retrofit* deve ser usado para determinar C_r . No entanto, ambos os programas de preços seriam para o mesmo período de tempo, habitualmente o *pós-retrofit*.

Por exemplo, a fonte de aquecimento passa da eletricidade para o gás e pretende-se usar os preços do *pós-retrofit*. Então C_b iria usar o programa de preços de eletricidade do *pós-retrofit* para toda a eletricidade. C_r iria usar programa de preços do gás do *pós-retrofit*, para o novo consumo de gás e o programa de preços de eletricidade do *pós-retrofit* para o resto do consumo de eletricidade.

Todavia, este tratamento de uma mudança do programa de preços intencional não se aplica se a mudança não fizer parte das *MRE(s)* a ser avaliadas. Por exemplo, se a concessionária mudasse as estruturas dos seus preços por nenhuma razão ligada à *MRE* a ser avaliada, o princípio geral da seção 8.1, de usar o mesmo programa de preços para C_b e C_r ainda se aplica.

8.2 Ajustes do período de referência (não de rotina)

As condições, que variam de modo previsível e são significativas para o consumo de *energia* dentro do *limite de medição*, são normalmente incluídas no modelo matemático usado para os *ajustes de rotina*, descritos na seção 4.6. Quando alterações inesperadas ou únicas das condições ocorrem dentro do *limite de medição*, que são de outro modo estáticas (*fatores estáticos*), *ajustes não de rotina*, também denominados *ajustes do período de referência*, devem ser feitos (ver também seção 4.6).

Os *ajustes não de rotina* são necessários quando ocorre uma alteração no equipamento ou no funcionamento dentro do *limite de medição* após o *período de referência*. Tal alteração acontece a um *fator estático* não a *variáveis independentes*. Por exemplo, uma *MRE* melhorou a eficiência de um grande número de aparelhos de iluminação. Quando mais aparelhos de iluminação foram instalados, depois da instalação da *MRE*, um *ajuste não periódico* foi efetuado. A *energia* estimada dos aparelhos acrescentados é adicionada à *energia do período de referência* de modo a que a verdadeira *economia* da *MRE* fosse ainda reportada.

Os valores *estimados* para a Opção A do PIMVP são habitualmente escolhidos para eliminar a necessidade de ajustes quando acontecem alterações dentro do *limite de medição* (ver seção 4.8.1). Por conseguinte, os *ajustes não de rotina* podem ser evitados usando a Opção A. Por exemplo, o consumo de refrigeração de uma central chiller foi *estimado* em vez de ser medido para determinar a *economia* da Opção A, criada por uma *MRE* para a eficiência do chiller. Após a aplicação da *MRE*, um alargamento da *instalação*

aumentou o consumo de refrigeração atual dentro do *limite de medição*. No entanto, uma vez que a Opção A foi escolhida utilizando um consumo de refrigeração fixo, a *economia* reportada permanece inalterada. A utilização da Opção A evitou a necessidade de um *ajuste não periódico*.

As condições do *período de referência* devem ser inteiramente documentadas no *Plano de M&V* de modo a que as mudanças nos *fatores estáticos* possam ser identificadas e possam ser feitos os *ajustes não de rotina* adequados. É importante ter um método de acompanhamento que permita relatar as mudanças nestes mesmos *fatores estáticos*. Este seguimento das condições pode ser realizado por um ou mais proprietários da *instalação*, agentes de criação da *economia* ou verificador independente. Deve ser estabelecido no *Plano de M&V* quem seguirá e reportará cada *fator estático*.

Quando a natureza das futuras alterações pode ser antecipada, métodos para realizar os *ajustes não de rotina* relevantes devem ser incluídos no *Plano de M&V*.

Os *ajustes não de rotina* são determinados a partir de alterações reais ou alterações físicas assumidas no equipamento ou funcionamento (*fatores estáticos*). Às vezes pode ser difícil quantificar o impacto das alterações, por exemplo, se forem numerosas ou não forem bem documentadas. Se o registro do consumo de *energia* da *instalação* é usado para quantificar o impacto de tais alterações, o impacto das *MREs* no consumo de *energia* da *instalação* deve ser primeiro retirado, usando as técnicas da Opção B. A Opção C não pode ser utilizada para determinar a *economia* quando o medidor de *energia* da *instalação* também é usado para quantificar o impacto das alterações nos *fatores estáticos*.

8.3 O papel da incerteza (Precisão)

A medição de qualquer quantidade física inclui erros porque nenhum instrumento de medição é 100% preciso. Os erros são as diferenças entre o consumo de *energia* observado e o verdadeiro consumo de *energia*. Num processo de determinação de *economia*, os erros impedem a determinação exata da *economia*. A Equação 1) implica habitualmente dois erros de medição (*energia* do *período de referência* e do *pós-retrofit*) e todos os erros existentes nos ajustes calculados. Para garantir que o erro resultante (incerteza) é aceitável para os usuários de um relatório de *economia*, deve-se certificar de que se gerenciam os erros inerentes à medição e análise, quando se estiver a desenvolver e a implementar o *Plano de M&V*.

As características do processo de determinação de *economia*, que devem ser cuidadosamente revistas para gerir a precisão ou a incerteza são:

- Instrumentação – os erros de equipamento de medição são devidos à calibração, medição inexata ou Seleção incorreta da instalação ou funcionamento do medidor.
- Modelagem – incapacidade de encontrar formas matemáticas que expliquem completamente todas as variações do consumo de *energia*. Os erros de modelagem podem ser devidos a uma forma funcional inadequada, inclusão de variáveis irrelevantes ou exclusão de variáveis relevantes.
- Amostragem – a utilização de uma amostra da totalidade dos equipamentos ou acontecimentos para representar a população inteira, induz em erro como resultado de: a variação em valores dentro da população ou amostragem influenciada. A amostragem¹⁸ pode ser feita num sentido físico (isto é, apenas 2% dos aparelhos de iluminação são medidos) ou num sentido temporal (medição instantânea apenas uma vez por hora).
- *Efeitos interativos* (para além do *limite de medição*) que não estão completamente incluídos na metodologia de cálculo da *economia*.
- *Estimativa* dos parâmetros usando a Opção A, em vez de os medir. Pode-se minimizar a variação entre o *valor* estimado do parâmetro e o seu verdadeiro valor através da

¹⁸ Neste Protocolo, a amostragem não se refere a procedimentos estatísticos rigorosos, mas às melhores práticas como as tratadas no anexo B-3.

revisão cuidadosa da concepção da *MRE*, a estimativa cuidadosa dos parâmetros e a inspeção cuidadosa da *MRE* após a instalação.

Métodos de quantificação, avaliação e redução de algumas destas incertezas são discutidos no anexo B deste documento e na ASHRAE (2002), seção 5.2.11.¹⁹ Ver também Reddy & Claridge (2000) que aplica métodos normalizados de análise de erros à determinação típica de *economia*. Estas ferramentas de quantificação devem apenas ser usadas para desenvolver o *Plano de M&V*, de modo a testar a incerteza inerente associada a características opcionais do programa de *M&V*.

Estabelecer a precisão aceitável da *economia* dos usuários durante o processo de planejamento de *M&V*. A seção 8.5 discute algumas questões acerca do estabelecimento do nível correto de incerteza de qualquer *MRE* ou projeto. O anexo B-1.2 define a amplitude da *economia*, relativamente a variações estatísticas dos dados do período de referência para que os relatórios de *M&V* sejam válidos.

A precisão de qualquer valor medido é expressa adequadamente dentro da gama na qual se espera que o verdadeiro valor se insira, com algum intervalo de *confiança*. Por exemplo, um medidor pode medir um consumo de 5.000 unidades com uma *precisão* de ± 100 unidades, e 95% de *confiança*. Tal afirmação significa que 95% das leituras do mesmo valor real estarão entre 4.900 e 5.100 unidades.

Na determinação da *economia*, é possível quantificar muitos fatores de incerteza, mas habitualmente nem todos são possíveis. Por conseguinte, quando se planejar um processo de *M&V*, reporta-se fatores de incerteza quantificáveis e também elementos qualitativos de incerteza. O objetivo é reconhecer e reportar todos os fatores de incerteza, qualitativa ou quantitativamente.

Quando se descreve a *precisão* num relatório de *economia*, deve-se reportar a *economia* com não mais *dígitos significativos* do que o número menor de *dígitos significativos* em quantidades contadas, estimadas ou constantes usadas no processo de quantificação. Ver o anexo A-2 para um exemplo de cálculo expresso com o número adequado de dígitos significativos.

8.4 Custo

O custo da determinação da *economia* depende de muitos fatores, tais como:

- a opção do PIMVP selecionada,
- o número de *MREs* e sua complexidade e a quantidade de interação entre elas,
- o número de fluxos de energia através do *limite 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 do *período de referência* necessárias para a opção selecionada,
- a quantidade e complexidade do equipamento de medição (concepção, instalação, manutenção, calibração, leitura, remoção),
- o tamanho das amostras usadas para a contagem do equipamento representativo,
- 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*, que são usadas nos modelos matemáticos,
- a duração do *pós-retrofit*,
- os requerimentos de precisão,
- os requerimentos do relatório de *economia*,

¹⁹ Deve-se notar que, contrariamente à ASHRAE Guideline 14, o PIMVP não requer a inclusão da incerteza nos relatórios de economia.

- o processo de revisão ou verificação da *economia* reportada, e
- a experiência e qualificações profissionais das pessoas encarregadas de efetuar a determinação da *economia*.

Os custos de *M&V* devem ser adequados ao tamanho da *economia* prevista, a duração do período de reembolso da *MRE* e o interesse dos usuários do relatório na precisão, frequência e duração do processo de criação de relatórios. Muitas vezes estes custos podem ser partilhados com outros objetivos tal como controle em tempo real, resposta operacional ou sub cobrança do locatário ou dos departamentos. Projetos de protótipo ou de pesquisa podem suportar um custo de *M&V* maior do que o normal, para poder estabelecer de forma precisa a *economia* gerada pelas *MREs* que serão repetidas. No entanto, o PIMVP está redigido de modo a fornecer muitas formas possíveis de documentar os resultados de uma *MRE*, para que os usuários possam desenvolver procedimentos de *M&V* pouco dispendiosos, que forneçam as informações adequadas.

É difícil generalizar acerca dos custos em relação às diferentes opções do PIMVP, uma vez que cada projeto irá ter o seu próprio orçamento. Todavia, a *M&V* não deve incorrer em mais custos do que os necessários para fornecer a certeza e a verificação adequadas na *economia* reportada, consistente com o orçamento global para as *MREs*.

Quadro 4
Elementos
únicos dos
custos de *M&V*

Opção A	Número de pontos de medição; complexidade da estimativa; frequência das inspeções do <i>pós-retrofit</i> .
Opção B	Número de pontos de medição; duração do <i>pós-retrofit</i> .
Opção C	Número de fatores estáticos a ser seguidos durante o <i>pós-retrofit</i> , número de <i>variáveis independentes</i> a ser usadas para os <i>ajustes de rotina</i> .
Opção D	Número e complexidade dos sistemas simulados; número de medições no terreno necessárias para fornecer dados de entrada para a simulação calibrada; competência do simulador profissional na realização da calibração.

O quadro 4 salienta os fatores chave que governam os custos e que são únicos para cada opção ou que não foram enumerados acima.

De modo geral, uma vez que a Opção A implica *estimativas*, esta irá implicar menos pontos de medição e custos inferiores, desde que a *estimativa* e os custos da inspeção não sejam excepcionalmente altos. Os métodos da Opção A têm habitualmente um custo mais baixo e um nível de incerteza mais elevado do que os métodos da Opção B.

Uma vez que um novo equipamento de medição está frequentemente associado às Opções A ou B, o custo de manutenção deste equipamento pode tornar a Opção C menos dispendiosa para *períodos de Relatório* mais longos. No entanto, os custos de medidores suplementares para as Opções A ou B podem ser partilhados com outros objetivos de monitoramento ou atribuição de custos.

Quando múltiplas *MREs* são instaladas num local, pode ser menos dispendioso usar as Opções C ou D do que isolar e medir múltiplas *MREs* com as Opções A ou B.

Um modelo de simulação da Opção D é muitas vezes demorado e dispendioso. Todavia, o modelo pode ter outras utilizações como conceber as próprias *MREs* ou conceber uma nova *instalação*.

Deve-se esperar que os custos de *M&V* sejam mais elevados no início do *pós-retrofit*. Nesta fase de um projeto, os processos de medição estão a ser aperfeiçoados e a monitoramento

precisa do desempenho energético ajuda a otimizar o funcionamento da *MRE*. O custo para a determinação de cada *economia* deve ser proporcional à *economia* prevista e à variação na *economia* (ver seção 8.5).

Muitas vezes o promotor de contratos é responsável apenas por certos indicadores de desempenho energético. Outros indicadores podem não ter de ser medidos para fins contratuais, embora o proprietário da *instalação* possa ainda querer medir todos os indicadores. Neste caso, o proprietário e o promotor de contratos partilham os custos da medição.

8.5 Equilibrar a incerteza e o custo

Num relatório de *economia*, o nível de incerteza aceitável está relacionado com o custo da incerteza que diminui a um nível adequado para o valor previsto da *economia*. Os custos médios típicos anuais de *M&V* são inferiores a 10% da *economia* média anual a ser avaliada. A quantidade da *economia* em jogo coloca portanto, um limite no orçamento da *M&V*, que por sua vez determina a margem aceitável de incerteza.

Por exemplo, tome-se como exemplo um projeto com uma *economia* prevista de \$100.000 por ano e um custo de \$5.000/ano para uma abordagem básica de *M&V* com uma *precisão* que não ultrapassa os $\pm\$25.000$ por ano, com 90% de confiança. Para aumentar a *precisão* para $\pm\$7.000$ poderia parecer razoável aumentar as despesas de *M&V* até \$10.000/ano (10% da *economia*), mas não a \$20.000/ano (20%).

O nível de incerteza aceitável no processo de reportar a *economia* é frequentemente uma questão pessoal, que depende da necessidade de rigor do leitor do relatório. No entanto, reduzir a incerteza requer mais ou melhores dados de funcionamento. Dados de funcionamento melhorados permitem uma melhor afinação da *economia* e o melhoramento de outras variáveis de funcionamento. Mais informações de funcionamento podem também ajudar a avaliar o equipamento para um aumento da fábrica ou para a substituição do equipamento velho.

O aumento das informações criado pela *M&V* pode também permitir a realização de pagamentos mais elevados sob um *contrato de desempenho energético* baseado em dados medidos em vez de supostos valores de *economia*, que devem ser conservadores.

Os investimentos adicionais para um nível mais baixo de incerteza não devem ultrapassar o aumento do valor previsto. Esta questão é discutida em detalhe por Goldberg (1996b).

Claro que, nem todas as incertezas podem ser quantificadas (ver seção 8.3). Por conseguinte, os relatórios de incerteza quantitativos e qualitativos devem ser tidos em conta quando se considerar as opções de custo de *M&V* para cada projeto.

Para cada projeto, proprietário e local da *instalação*, há um *Plano de M&V ótimo*. Esse *Plano de M&V* ótimo deve incluir uma consideração iterativa da sensibilidade da incerteza na *economia* e do custo da *M&V* para cada parâmetro da arquitetura *M&V*. O anexo B apresenta métodos de quantificação da incerteza. Os apêndices B-5.1 e B-5.2 apresentam métodos para combinar os vários componentes de incerteza e estabelecer critérios ou objetivos de incerteza.

Não se pode esperar que todas as *MREs* atinjam o mesmo nível de incerteza de *M&V*, uma vez que a incerteza é proporcional à complexidade da *MRE* e às variações de funcionamento durante o *período de referência* e o *pós-retrofit*. Por exemplo, os métodos da Opção A podem permitir que *economia* de uma simples *MRE* de iluminação de uma fábrica industrial seja determinada com menos incerteza do que a *economia* da *MRE* de uma chiller, uma vez que os parâmetros de iluminação *estimados* podem ter menos incerteza que os parâmetros *estimados* da central chiller.

Ao determinar o nível de medição e os custos associados, o *Plano de M&V* deve ter em consideração a taxa de variação no consumo de *energia* dentro do *limite de medição*. Por exemplo, o sistema de iluminação interior pode utilizar a eletricidade de forma bastante uniforme durante todo o ano, tornando relativamente fácil determinar a *economia*, enquanto as cargas de aquecimento e resfriamento, mudam sazonalmente tornando a identificação

da *economia* mais difícil. Considere-se as seguintes diretrizes gerais para equilibrar o custo e a incerteza num processo de *M&V*.²⁰

1. **Variação de energia baixa & MRE de pequeno valor.** As *MREs* de pequeno valor não podem normalmente beneficiar de muita *M&V*, baseando-se na diretriz dos 10% de *economia*, especialmente se houver pouca variação nos dados de *energia* medidos. Tais situações combinadas teriam tendência a favorecer a Opção A e *períodos de Relatório* curtos. Por exemplo, no caso de um motor ventilador de exaustão a uma velocidade constante que funciona sob uma carga constante segundo um horário bem definido.
2. **Variação de energia alta & MRE de pequeno valor.** As *MREs* de pequeno valor não podem normalmente beneficiar de muita *M&V*, como em 1, descrito acima. No entanto, com uma grande taxa de variação nos dados de *energia*, as técnicas de medição de todos os parâmetros da Opção B podem ser necessárias para obter a incerteza requerida. As técnicas de amostragem podem ser capazes de reduzir os custos da Opção B. A Opção C pode não ser adequada, se se basear nas orientações gerais da seção 4.9, de que a *economia* deve ultrapassar 10% do consumo contado da *instalação*, para poder ser medida.
3. **Variação de energia baixa & MRE de grande valor .** Com uma baixa variação no consumo de *energia*, o nível de incerteza é muitas vezes baixo, por isso as técnicas da Opção A podem ser as mais adequadas. Todavia, uma vez que se prevê uma grande *economia*, pequenos melhoramentos ao nível da *precisão* podem ter recompensas monetárias bastante grandes para merecer uma medição e análise de dados mais precisa, se se conseguir manter os custos adequados de *M&V* relativamente à *economia*. Por exemplo, se a *economia* de uma *MRE* for de \$1.000.000 anualmente, pode-se decidir aumentar os \$5.000 anuais de custo de *M&V* para \$20.000, se isso aumentar a *precisão* e fornecer mais dados de funcionamento. Por outro lado, uma *MRE* de grande valor pode ser claramente medida com a Opção C. A Opção C pode manter os custos de *M&V* baixos, se forem usados meios simples para monitorar os *fatores* estáticos para detectar a necessidade de *ajustes não de rotina*.
4. **Variação de energia alta & MRE de grande valor .** Esta situação permite uma redução adequada da incerteza, através da obtenção e análise de dados extensiva, utilizando as Opções A, B ou D. No entanto, a *economia* pode aparecer nos registros da concessionária, por isso as técnicas da Opção C podem ser usadas com um monitoramento cuidadosa dos *fatores* estáticos para detectar as necessidades de *ajustes não de rotina*. O *pós-retrofit* pode ter de cobrir múltiplos *ciclos* normais do funcionamento da *instalação*.

8.6 Verificação por um verificador independente

Quando um promotor de contratos é contratado pelo proprietário de uma *instalação* para fazer e reportar a *economia de energia*, o proprietário pode necessitar de um verificador independente para rever os relatórios de *economia*. Este verificador independente deve começar por rever o *Plano de M&V* durante a sua preparação, para garantir que os relatórios de *economia* irão satisfazer as expectativas do proprietário relativamente à incerteza.

A revisão independente pode também examinar *ajustes não de rotina*. No entanto, a revisão completa de *ajustes não de rotina* requer uma boa compreensão da *instalação*, o seu funcionamento e técnicas de cálculo de engenharia da *energia*. O proprietário da *instalação* deve fornecer resumos das alterações nos *fatores estáticos* de modo a que o verificador possa concentrar-se nos cálculos de engenharia dos *ajustes não de rotina*.

Um *contrato de desempenho energético* necessita que ambas as partes acreditem que os pagamentos do desempenho energético se baseiam em informação válida. Um verificador independente pode ajudar a garantir a validade das medições e a evitar conflitos. Se

²⁰ Ver também FEMP (2002).

surgirem conflitos durante o *pós-retrofit*, este verificador independente pode ajudar a resolver os conflitos.

Os verificadores independentes são consultores de engenharia típicos com experiência e conhecimentos em *MREs*, *M&V* e *contratos de desempenho energético*. Muitos são membros de sociedades de indústrias profissionais ou são Profissionais Certificados em Medição e Verificação (Certified Measurement and Verification Professionals - CMVPs).²¹

8.7 Dados para o mercado de emissões

A adesão ao PIMVP pode levar ao aumento da confiança nos relatórios de *economia* de energia, o que também aumenta a confiança em relatórios associados de redução de emissões.

Combinado com o *Plano de M&V* específico para cada projeto, o PIMVP aumenta a consistência do ato de reportar e permite a validação e verificação de projetos de economia de energia. No entanto, para verificar uma redução de emissões, o PIMVP e o *Plano de M&V* do projeto devem ser usados em conjunção com a orientação específica do esquema de mercado de emissões para converter a *economia* de energia em reduções de emissões equivalentes.

O mercado de emissões será facilitado se os seguintes métodos de reportar a energia forem considerados, quando se conceber o processo para a determinação das unidades de energia *pougadas*.

- A *economia* elétrica deve ser dividida entre o período de horas de cheio e períodos de horas de vazio, e época de ozono e época de não ozono, quando o mercado de NOx ou de COV está envolvido. Estes períodos são definidos pelo esquema adequado de mercado de emissões.
- As reduções nas compras da rede elétrica devem ser divididas entre as causadas pela redução da carga e as causadas por geração autónoma aumentada na instalação.
- O *período de referência ajustado* usado para calcular a *economia* de energia pode precisar de mudar para se adaptar às necessidades do esquema específico de mercado de emissões. Para fins de mercado de emissões, os *consumos de referência ajustados* precisam de ter em consideração se as *MREs* foram 'excedentes' ou 'adicionais' em relação ao comportamento normal. As *MREs* podem não ser permitidas no mercado de emissões se não se traduzirem em aditividade ou simplesmente não forem conformes com os regulamentos em vigor. As regras do período de referência são definidas pelo esquema adequado de mercado de emissões. Por exemplo, onde as normas de eficiência mínima do equipamento governam o mercado do equipamento, estas normas estabelecem o período de referência para determinar as quantidades negociáveis.
- Separar a *economia* de energia por local, se um projeto transpõe a fronteira da gama potências de referência ou se as quantidades de emissão estiverem fora de uma gama de interesse.
- Separar a *economia* de combustível, por combustível ou tipo de caldeira, se se aplicam diferentes taxas de emissão a cada dispositivo de combustão.

Cada sistema de mercado de emissões tem habitualmente as suas próprias regras à volta dos fatores de emissão a ser aplicados à *economia* de energia. Para a *economia* de combustível, podem ser apresentadas taxas de emissão 'default', quando não existe nenhum equipamento de medição de emissões no local. Para a *economia* de eletricidade, podem também ser fornecidos valores 'default' para a taxa de emissão da rede elétrica. Alternativamente, os usuáries podem estabelecer a sua própria taxa de emissão para a economia de eletricidade, seguindo princípios reconhecidos, tais como os publicados como parte das "Guidelines for Grid-Connected Electricity Projects (WRI 2007)".

²¹ O programa de CMVP é uma atividade conjunta da Efficiency Valuation Organization e da Association of Energy Engineers (AEE). Acessível através do sítio da web da EVO www.evo-world.org.

8.8 Condições de funcionamento mínimo

Um programa de eficiência energética não deve afetar a utilização da *instalação* à qual é aplicado, sem a concordância dos ocupantes do edifício ou dos gestores do processo industrial. Os parâmetros chave do usuário podem ser: o nível de iluminação, a temperatura, a taxa de ventilação, a pressão do ar comprimido, a pressão e temperatura do vapor, a taxa do fluxo de água, a taxa de produção, etc.

O *Plano de M&V* deve registrar as condições de funcionamento mínimas acordadas que serão mantidas (ver Capítulo 5).

O Volume II do PIMVP, Conceitos e práticas para o melhoramento da qualidade do ar interior, sugere métodos de monitoramento das condições do espaço interior através de um programa de eficiência energética.

8.9 Dados climáticos

Quando se usar medições mensais de energia, os dados climáticos devem ser registrados diariamente para que possam corresponder às datas reais de leitura da contagem de energia.

Para uma análise mensal ou diária, os dados climáticos publicados pelo governo são habitualmente os mais precisos e os mais verificáveis. No entanto, os dados climáticos das fontes governamentais podem não estar disponíveis tão rapidamente quanto os dados climáticos monitorados no local. Se se utilizar equipamento de monitoramento climática no local, é preciso certificar-se de que é calibrado regular e adequadamente.

Quando se analisar o consumo de energia em resposta ao clima num modelo matemático, podem ser usados dados de temperatura média diária ou *grau-dia*.

8.10 Padrões mínimos de energia

Quando um certo nível de eficiência é requerido por lei ou por prática padrão do proprietário da instalação,²² a *economia* pode-se basear na diferença entre a *energia do pós-retrofit* e do padrão mínimo. Nestes casos, a *energia do período de referência* pode ser igual ou inferior aos padrões de *energia* mínimos aplicáveis.

8.11 Questões relativas à medição

A utilização correta dos medidores para aplicações específicas é uma ciência por si mesma. Encontram-se disponíveis numerosas referências relativamente a isto. A página web da EVO contém referências atuais relevantes sobre técnicas de medição. O anexo A da ASHRAE (2002), também contém informações úteis acerca de sensores, técnicas de calibração, normas laboratoriais de medição e métodos de testes para chillers, ventoinhas, bombas, motores, caldeiras, armazenamento térmico e sistemas de ventilação. Também contém considerações úteis acerca de erros e custos, embora a informação sobre custos seja datada porque a pesquisa que produziu os dados foi feita em 1994.

O Quadro 5, mais abaixo, resume alguns tipos de medidor chave e apresenta comentários acerca de questões de *M&V* para alguns deles. Este Quadro não se encontra completo nem é definitivo.

8.11.1 Erros na obtenção de dados e dados perdidos

Nenhum processo na obtenção de dados decorre sem erros. As metodologias para a obtenção de dados do *pós-retrofit* diferem no grau de dificuldade e conseqüentemente na quantidade de dados errados ou em falta que possam surgir. O *Plano de M&V* deve estabelecer uma taxa máxima aceitável de perda de dados e como essa taxa será medida.

²² O U.S. Department of Energy's Building Energy Standards and Guidelines Program (BSGP), disponível em www.eren.doe.gov/buildings/codes_standards/buildings, fornece informação acerca das normas dos edifícios residenciais, comerciais e federais dos E.U.A..

Este nível deve fazer parte da consideração global relativamente à precisão. O nível de perda de dados pode afetar consideravelmente os custos. O *Plano de M&V* deve também estabelecer uma metodologia através da qual dados errados ou em falta do *pós-retrofit* serão recriados por interpolação para a análise final. Nestes casos, os modelos do *pós-retrofit* são necessários para interpolar entre os pontos de dados medidos, para que a *economia* possa ser calculada para cada período.

É preciso ter em consideração que os dados do *período de referência* consistem em fatos reais acerca da *energia e variáveis independentes* tal como existiram durante o *período de referência*. Por conseguinte, os problemas de dados do *período de referência* não devem ser substituídos por dados modelados, exceto quando se usar a Opção D. Quando os dados do *período de referência* estão em falta ou são inadequados, deve-se Demandar outros dados reais para os substituir ou mudar o *período de referência* para que contenha apenas dados reais. O *Plano de M&V* deve documentar a fonte de todos os dados do *período de referência*.

Quadro 5 Tipos de medidores chave – Parte 1

Aplicação	Categoria do medidor	Tipos de medidor	Precisão típica	Custo relativo	Melhores usos	Questões especiais de M&V
Corrente alternada (ampère)	Transformador de Intensidade (TI)	Transformador toroidal ou de núcleo partido	<1%			Não utilizar quando o fator de potência for menor do que 100% ou há uma distorção da onda sinusoidal
Tensão de corrente alternada (volt)	Transformador de Tensão(TT)	Transformador toroidal ou de núcleo partido				
Potência elétrica CA (watt) ou Energia CA (watt-hora)	wattímetro rms ou medidor de energia	Medir potência (ou volt ampère e fator de potência) e energia. Usar amostragem digital (IEEE 519-1992) para medir corretamente formas de onda distorcidas				Necessário para cargas indutivas (ex. motores, reatores) ou circuitos com componentes harmônicos tal como um variador de velocidade
Tempo de registro (horas)	Medir e registrar os períodos de funcionamento do equipamento	Funcionamento a pilhas		Custo inferior ao do registro de energia	Registro dos períodos de iluminação	Para equipamento que tenha uma taxa de consumo de energia constante, quando ligado
Temperatura (graus)	Detector de resistência de temperatura(RTD)		Razoável	Baixo custo	Ar e água	Muito usado. Ter o cuidado de compensar diferentes comprimentos de fio
	Termo-par		Elevada	Elevado		Estreita faixa. Adequada à contagem de energia térmica. Necessita de amplificadores do sinal

Quadro 5 Tipos de medidores chave – Parte 2

Aplicação	Categoria do medidor	Tipos de medidor	Precisão típica	Custo relativo	Melhores usos	Questões especiais de M&V
Umidade (%)						Necessária calibração regular
Fluxo líquido (unidades/seg)	Intrusivo	Pressão diferencial	1-5% do max.			
		Deslocamento positivo	<1%			
		Turbina ou turbina de inserção de derivação a quente	<1%		Líquido limpo, tubo direito	
		De turbilhão	Alta			
	Não intrusivo	Ultra sónico	<1%		Tubo direito	Medição de fluxo específico
		Magnético		Elevado		
Balde & cronómetro			Baixo	Condensação de vapor, suporte de saída de canalização	Medição de fluxo específico	
Pressão						
Energia térmica	Cálculo e registro de temperatura e fluxo	Usa sensores de temperatura e de fluxo precisos. Para o vapor pode precisar de sensores de temperatura e pressão	<1%	Elevado		Usa sensores de temperatura similares para medir a diferença de temperatura. Gerir cuidadosamente todas as fontes possíveis de erro

8.11.2 Utilização de sistemas de comando para a obtenção de dados

Um sistema de controle computadorizado pode fornecer muita da monitoramento necessária para a obtenção de dados. No entanto, o hardware e software do sistema deve ser capaz de controlar e recolher dados simultaneamente, sem abrandar o processamento do computador, sem consumir em excesso a largura de banda de comunicação ou exceder a capacidade de armazenamento.

Alguns parâmetros medidos podem não ser úteis para o controle: a contagem da potência elétrica, por exemplo. tendência do consumo de energia de dispositivos de pouco consumo, iluminação e do consumo de energia total podem ser muito úteis para a determinação da *economia* de alta qualidade e reações operacionais, mas inúteis para o controle em tempo real.

O software do sistema de controle pode muitas vezes desempenhar outras funções para ajudar no seguimento de alterações aos *fatores estáticos* durante o *pós-retrofit*, tal como a gravação automática das alterações em pontos pré-estabelecidos.

O pessoal responsável pela gestão da *instalação* deve receber uma formação adequada sobre esta utilização do sistema, para que possam desenvolver os seus próprios conhecimentos sobre as tendências para diagnosticar problemas do sistema, desde que o sistema tenha capacidade para análises extras. Todavia, quando um promotor de contratos é responsável por algumas operações controladas pelo sistema, as medidas de segurança devem garantir que o acesso às funções só pode ser feito por pessoas competentes e autorizadas.

A equipa de concepção e monitoramento do sistema de controle pode ter uma ligação direta, apenas de leitura, ao sistema através de uma ligação a um modem, para que possa inspeccionar facilmente os dados de tendência no seu escritório. No entanto, nesta situação devem de ser avaliada a preocupação com possíveis ataques de vírus e a segurança do computador.

Os sistemas de controle podem registrar o consumo de energia com a sua capacidade de tendência. No entanto, alguns sistemas registram acontecimentos com "alteração de valor" (ADV) que não são usados diretamente para calcular a *economia* de energia, sem seguir os intervalos de tempo entre acontecimentos individuais de ADV (Claridge et al. 1993, Heinemeier e Akbari 1993). É possível reduzir os limites de ADV de modo a forçar a referência em direção a intervalos mais regulares, mas isto pode sobrecarregar os sistemas que não foram concebidos para tais densidades de dados.

Deve-se ter grande cuidado em:

- Controlar o acesso e/ou alterações ao registro de referência do sistema, a partir do qual são extraídos os dados de *energia*.
- Desenvolver rotinas de pós-processamento para alterar quaisquer dados de ADV do sistema de controle para dados de séries de tempo para fazer uma análise.
- Obter do fornecedor do sistema de controle:
 - calibrações standard detectáveis de todos os sensores fornecidos,
 - a prova de que os algoritmos patenteados para contar e/ou totalizar impulsos e unidades são precisos. (Atualmente, não existem normas industriais para realizar esta análise (Sparks et al. 1992)), e
 - o compromisso de que existe o processamento adequado e a capacidade de armazenamento para lidar com dados de referência ao mesmo tempo que apoia as funções de controle do sistema.

CAPÍTULO 9 DEFINIÇÕES

Os termos encontram-se em *itálico* no texto para indicar que têm os seguintes significados:

Ajustes de referência: Os *ajustes não de rotina* (seções 4.6 e 8.2) que surjam de alterações durante o *período pós-retrofit* em qualquer característica que governe a *energia da instalação* dentro do *limite de medição*, exceto as denominadas *variáveis independentes* usadas para *ajustes de rotina*.

Ajustes não de rotina: Cálculos individuais de engenharia na Equação 1) do capítulo 4 para explicar as alterações nos *fatores estáticos* dentro do *limite de medição* desde o *período de referência*. Quando os ajustes não de rotina são aplicados ao *período de referência* são às vezes denominados apenas “ajustes do período de referência” (Ver também seção 8.2.)

Ajustes de rotina: Os cálculos na Equação 1) do capítulo 4 feitos com uma fórmula mostrada no *Plano de M&V* para explicar as alterações em *variáveis independentes* selecionadas dentro do *limite de medição* desde o *período de referência*.

Análise de regressão: Técnica matemática que extrai parâmetros de um conjunto de dados para descrever a correlação entre *variáveis independentes* medidas e *variáveis dependentes* (habitualmente dados de *energia*). Ver anexo B-2.

Ciclo: O período de tempo entre o início de modos de funcionamento similares sucessivos de uma *instalação* ou peça de equipamento cujo consumo de *energia* varie em resposta aos procedimentos de funcionamento ou *variáveis independentes*. Por exemplo, o ciclo da maioria dos edifícios é de 12 meses, uma vez que o seu consumo de energia responde às condições climáticas exteriores, que variam numa base anual. Um outro exemplo, é o ciclo semanal de um processo industrial, que funciona aos Domingos de forma diferente do resto da semana.

Coefficiente de determinação (R^2): Ver anexo B-2.2.1.

Coefficiente de variância (CV): Ver anexo B-3.1

Comissionamento: Um processo para realizar, verificar e documentar o desempenho do equipamento em satisfazer as necessidades de funcionamento da *instalação* dentro das capacidades de concepção e em conformidade com a documentação da concepção e os critérios funcionais do proprietário, incluindo a formação do pessoal operacional.

Constante: Um termo usado para descrever um parâmetro físico, que não se altera durante um período de interesse. Variações menores podem ser observadas no parâmetro, podendo-se continuar a descrevê-lo como constante. A magnitude das variações que são tidas como sendo ‘menores’ deve ser reportada no *Plano de M&V*.

Contrato de performance energética: Um contrato entre duas ou mais partes, onde o pagamento se baseia na obtenção de resultados específicos, tal como a redução nos custos de *energia* ou o reembolso do investimento dentro de um determinado período.

CV(EMQ): Coeficiente de variância (erro médio quadrático) Ver anexo B-2.2.2

Demanda a ser paga: Um método que as empresas do setor energético utilizam para estabelecer a demanda pela qual eles faturam quando esta é diferente da demanda registrada. As empresas do setor energético podem considerar máximos ou mínimos sazonais, fator de potência ou montantes dos contratos para estabelecer a demanda em faturas (chamada “demanda faturada”).

Desvio padrão: Ver anexo B-1.3.

Dígitos significativos: Dígitos diferentes de zero e zeros com dígitos diferentes de zero à sua esquerda. É de notar que os números inteiros (números sem vírgulas decimais) têm um número ilimitado de dígitos significativos. Os números inteiros que terminam em zero têm um número pouco claro de dígitos significativos. (Ver também anexo A-2.)

É também de notar que ao adicionar números, a regra dos dígitos significativos é substituída por uma regra sobre o número de dígitos depois da vírgula decimal. O número destes dígitos em qualquer soma deve corresponder ao número, com o menor número destes dígitos.

Distribuição-t: Ver anexo B-2.2.3.

Economia normalizada: A redução no consumo ou custo de *energia* que ocorreu durante o *pós-retrofit*, relativamente ao que teria ocorrido se a *instalação* tivesse sido equipada e funcionasse como durante o *período de referência* mas sob um conjunto normal de condições. Estas condições normais podem ser uma média a longo prazo ou as de um qualquer outro período de tempo escolhido, que não seja o do *pós-retrofit*. As condições normais podem também ser estabelecidas como sendo as que prevalecem durante o *período de referência*, especialmente se foram usadas como base para prever a *economia*. (Ver seção 4.6.2) Se as condições forem as do *período de relato*, o termo *consumo de energia evitado* (ver seção 4.6.1), ou apenas *economia*, é usado em vez de economia normalizada.

Economia: Redução no uso ou custo de *energia*. A economia física pode ser expressa como *uso de energia evitado* ou *economia normalizada* (ver seções 4.6.1 e 4.6.2, respectivamente). A economia monetária pode ser expressa analogamente como “custo evitado” ou “economia de custo normalizada” (ver seção 8.1). A economia, empregue no PIMVP, **não** é a simples diferença entre as faturas do comercializador de energia nos períodos de referência e de pós-retrofit ou as quantidades contadas. Ver seção 4.1 para mais informações acerca deste ponto.

Efeitos interativos: Efeitos de *energia* criados por uma *MRE* mas não medidos dentro do *limite de medição*.

Empresas de serviços de energia (ESCO): Uma empresa que fornece serviços de concepção e construção de *MREs* sob um *contrato de desempenho energético*.

Energia: Uso de energia ou de água ou demanda.

Energia de referência O uso da *energia* do *período de referência* (*‘baseline’*), sem ajustes

Energia de referência ajustada O uso da *energia* do *período de referência* (*‘baseline’*), ajustado a um conjunto diferente de condições de funcionamento.

Erro padrão da estimativa: Ver anexo B-2.2.2.

Erro padrão do coeficiente: Em uma regressão linear ($Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2^2 + \dots$) o erro de “b” é calculado a partir de “t” Ver anexo B-2.2.3.

Erro padrão: Ver anexo B-1.3.

Erro provável: Ver anexo B-5.

Erro sistemático médio (ESM): Ver anexo B-2.2.2.

Estimativa: Processo de determinação de um parâmetro utilizado num cálculo de *economia* através de outros métodos sem ser a medição nos *períodos de referência* e de *Relatório*. Estes métodos podem ir desde suposições arbitrárias a estimativas de engenharia derivadas da classificação do fabricante do desempenho energético do equipamento. Os testes do desempenho energético do equipamento que **não** são feitos no local onde este é usado durante o *pós-retrofit* são estimativas, para fins de adesão ao PIMVP.

Fatores estáticos: Características de uma *instalação* que afetam o consumo de *energia*, dentro do *limite de medição* escolhido, mas que não são usadas como base para os *ajustes de rotina*. Estas características incluem características fixas, ambientais, de funcionamento e de manutenção. Podem ser constantes ou variáveis. (Ver em particular as seções 4.6 e 8.2.)

Fronteira de medição: Limite imaginário estabelecido à volta do equipamento e/ou sistemas para separar aqueles que são relevantes para a determinação da *economia* daqueles que não o são. Todos os consumos de *energia* do equipamento ou sistemas

dentro do limite de medição devem ser medidos ou estimados, quer os consumos de *energia* estejam ou não dentro do limite. Ver seção 4.4.

Graus-dia: Um grau-dia é a medida da carga de aquecimento ou resfriamento numa *instalação* criada pela temperatura exterior. Quando a temperatura média exterior diária está um grau abaixo da temperatura de referência estabelecida, como por exemplo 18°C por um dia, é definido que há um grau-dia de aquecimento. Se esta diferença de temperatura se mantivesse durante dez dias, haveria dez graus-dia de aquecimento contados para o período total. Se a diferença de temperatura fossem 12 graus durante 10 dias, seriam contados 120 graus-dia de aquecimento. Quando a temperatura ambiente está abaixo da temperatura de referência, está definido que os graus-dia de aquecimento são contados. Quando a temperatura ambiente está acima da referência, são contados graus-dia de resfriamento. Qualquer temperatura de referência pode ser usada para registrar graus-dia, embora se escolha habitualmente aquela que reflete a temperatura à qual um edifício em particular já não necessite de aquecimento ou resfriamento.

Instalação: Um edifício ou local industrial contendo vários sistemas que utilizam *energia*. Uma ala ou seção de uma *instalação* maior pode ser tratada como uma *instalação* por si só se tiver medidores que meçam separadamente toda a sua *energia*.

Intervalo de confiança: A probabilidade de qualquer valor medido ficar dentro de uma gama estabelecida de *precisão*. Ver anexo B-1.1.

Média: Ver anexo B-1.3.

Medição e Verificação (M&V): Processo de utilização de medições para determinar corretamente a *economia* real dentro de uma instalação individual por um programa de gestão de *energia*. A *economia* não pode ser medida diretamente, uma vez que representa a ausência do consumo de *energia*. Em vez disso, a *economia* é determinada, comparado o consumo medido antes e depois da implementação de um projeto, fazendo os ajustes adequados para as alterações nas condições. Ver também Capítulo 2.

Medições: Coleção de dados de *energia* durante um período de tempo numa *instalação*, através da utilização de dispositivos de medição.

Medida de racionalização de energia (MRE): Uma atividade ou conjunto de atividades concebidos para aumentar a eficiência *energética* de uma *instalação*, sistema ou peça de equipamento. As MREs podem também conservar *energia* sem mudar a eficiência. Várias MREs podem ser implantadas numa *instalação* ao mesmo tempo, cada uma com uma largura de faixa diferente. Uma MRE pode implicar uma ou mais: alterações físicas ao equipamento da *instalação*, revisões dos procedimentos de funcionamento e de manutenção, alterações de software ou novos meios de formação ou gestão dos usuários do espaço ou operações e do pessoal da manutenção. Uma MRE pode ser aplicada como uma alteração a um sistema ou *instalação* já existentes ou como uma modificação a um conceito antes da construção de um novo sistema ou *instalação*.

Modelo de simulação: Conjunto de algoritmos que calcula o consumo de *energia* de uma instalação, baseado em equações de engenharia e parâmetros de utilização definidos.

Período de referência: O período de tempo escolhido para representar o funcionamento da *instalação* ou sistema antes da implementação de uma MRE. Este período pode ser tão curto quanto o tempo necessário para uma medição instantânea de uma quantidade *constante* ou suficientemente longo para refletir um *ciclo* de funcionamento completo de um sistema ou *instalação* com funcionamentos variáveis.

Período pós-retrofit (“pós-retrofit”): Período de tempo que se segue à implementação de uma MRE quando os relatórios de *economia* aderem ao PIMVP. Este período pode ser tão curto quanto o tempo de uma medição instantânea de uma quantidade constante; suficientemente longo para refletir todos os modos de funcionamento normal de um sistema ou *instalação* com operações variáveis; a duração do período de reembolso financeiro de um investimento; a duração de um período de medição do desempenho energético sob um *contrato de desempenho energético*; ou indefinido.

Plano de M&V : O documento definido no Capítulo 5.

Precisão: Quantidade pela qual se espera que um valor medido se desvie do verdadeiro valor. A precisão é expressa como uma tolerância de “±”. Qualquer declaração de precisão acerca de um valor medido deve incluir uma declaração de *confiança*. Por exemplo, a precisão de um medidor pode ser classificada pelo fabricante do medidor como ±10% com um intervalo de confiança de 95%. Ver anexos B-1.1 e B-1.2 para as definições de *precisão absoluta* e *precisão relativa*.

Preço marginal: O custo de uma unidade adicional de um produto cobrado sob uma taxa horária complexa.

Representante (“proxi”): Parâmetro medido que substitui a medição direta no local de um parâmetro de *energia*, quando se provou que existia uma relação entre os dois no local. Por exemplo, se se provou que existe uma relação entre o sinal de saída de um controlador de um variador de velocidade e a necessidade de potência da ventoinha controlada, este sinal de saída é um representante da potência da ventoinha.

Uso de energia evitado: A redução do uso de *energia*, que ocorreu durante o *pós-retrofit*, relativamente ao que teria ocorrido se a *instalação* tivesse sido equipada e operando como esteve durante o *período de referência*, mas sob condições de funcionamento do *pós-retrofit*. (ver seção 4.6.1). “Custo evitado” é o equivalente monetário do “uso de energia evitado.” Ambos são habitualmente denominados por *economia*. *Economia normalizada* é um outro tipo de *economia*.

Uso de referência: O uso de *energia* que ocorre durante o *período de referência* sem ajustes.

Variância: Ver anexo B-1.3.

Variável independente: Um parâmetro que se espera que mude regularmente e tem um impacto mensurável no consumo de *energia* de um sistema ou *instalação*.

Verificação: Processo de análise de um relatório preparado por outros com o fim de comentar a sua adequação ao objetivo pretendido.

CAPÍTULO 10 REFERÊNCIAS

NOTA: As seguintes referências destinam-se a fornecer ao leitor recursos de informação adicional. Estes recursos consistem em publicações, manuais e relatórios de agências governamentais, universidades, organizações profissionais e outras autoridades reconhecidas. Na sua maioria, teve-se o cuidado de citar a publicação, a editora ou a fonte, onde o documento pode ser obtido.

1. Akbari, H., Heinemeier, K.E., LeConiac, P. e Flora, D.L. 1988. "An Algorithm to Disaggregate Commercial Whole-Facility Hourly Electrical Load Into End Uses", Proceedings of the ACEEE 1988 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 10, pp. 10.14-10.26.
2. ASHRAE Guideline 1-1996. The HVAC Commissioning Process. American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.
3. ASHRAE Guideline 14-2002, Measurement of Energy and Demand Savings. American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.
4. ASHRAE. 1989. An Annotated Guide to Models and Algorithms for Energy Calculations Relating to HVAC Equipment, American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.
5. ASHRAE 2005. Handbook: Fundamentals, Chapter 32 - "Energy Estimating and Modeling Methods", Atlanta, Georgia.
6. ASTM 1992. Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization, American Society for Testing Materials, Philadelphia, Pennsylvania.
7. Baker, D. e Hurley, W. 1984. "On-Site Calibration of Flow Metering Systems Installed in Buildings", NBS Building Science Series Report No. 159, January.
8. Benedict, R. 1984. Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurement. John Wiley and Sons, New York, New York.
9. Benton, C., Chace, J., Huizenga, C., Hyderman, M. e Marcial, R. 1996. "Taking A Building's Vital Signs: A Lending Library of Handheld Instruments", Proceedings of the ACEEE 1996 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 4, pp. 4.11-4.21.
10. Bourdouxhe, J.P., Grodent, M., LeBrun, J. 1995. "HVAC01 Toolkit: A Toolkit for 20 Primary HVAC System Energy System Energy Calculations", Final report submitted to ASHRAE.
11. Bourdouxhe, J.P., Grodent, M., LeBrun, J. 1994a. "Toolkit for Primary HVAC System Energy Calculation - Part 1: Boiler Model", ASHRAE Transactions, Vol. 100, Pt. 2.
12. Bourdouxhe, J.P., Grodent, M., LeBrun, J. 1994b. "Toolkit for Primary HVAC System Energy Calculation - Part 2: Reciprocating Chiller Models", ASHRAE Transactions, Vol. 100, Pt. 2.
13. Bou Saada, T.E. e Haberl, J.S. 1995a. "A Weather-Daytyping Procedure for Disaggregating Hourly End-Use Loads in an Electrically Heated and Cooled Building from Whole-facility Hourly Data", 30th Intersociety Energy Conversion Energy Conference, July 30-August 4.
14. Bou Saada, T.E. e Haberl, J.S. 1995b. "An Improved Procedure for Developing Calibrated Hourly Simulated Models", Proceedings of Building Simulation, 1995: pp. 475-484.
15. Bou Saada, T.E., Haberl, J., Vajda, J. e Harris, L. 1996. "Total Utility Savings From the 37,000 Fixture Lighting Retrofit to the USDOE Forrestal Building", Proceedings of the 1996 ACEEE Summer Study, August.
16. Brandemuehl, M. 1993. HVAC02: Toolkit: Algorithms and Subroutines for Secondary HVAC Systems Energy Calculations, American Society of Heating, Ventilating, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, Georgia.

17. Bryant, J. e O'Neal, D. 1992. "Calibration of Relative Humidity Transducers for use in the Texas LoanSTAR Program", Proceedings of the 1992 Hot and Humid Conference, Texas A&M University, Energy Systems Laboratory Report No. ESL-PA-92/02-15.
18. Claridge, D., Haberl, J., Bryant, J., Poyner, B. e McBride, J. 1993. "Use of Energy Management and Control Systems for Performance Monitoring of Retrofit Projects", Final Summary Report, USDOE Grant #DE-FG01- 90CE21003, Submitted to the USDOE Office of Conservation and Energy, Energy Systems Laboratory Report ESL-TR-91/09/02, Texas A&M University, March.
19. Claridge, D., Haberl, J., Liu, M., Houcek, J. e Aather, A. 1994. "Can You Achieve 150% of Predicted Retrofit Savings? Is it Time for Recommissioning?", Proceedings of the 1994 ACEEE Summer Study, pp. 5.73- 5.88, August.
20. Claridge, D., Haberl, J., Liu, M. e Athar, A. 1996. "Implementation of Continuous Commissioning in the Texas LoanSTAR Program: Can you Achieve 150% of Estimated Retrofit Savings: Revisited", Proceedings of the 1996 ACEEE Summery Study, August.
21. Cortina, V. (ed.) 1988. "Precision Humidity Analysis", EG&G Environmental Equipment, 151 Bear Hill Road, Waltham, Massachusetts, (IR sensors).
22. Doebelin, E. 1990. Measurement Systems. McGraw-Hill, New York, New York, ISBN 0-07-017338-9.
23. EEI 1981. Handbook for Eletricity Metering, Edison Eletric Institute, Washington, D.C., ISBN-0-931032-11-3.
24. EPRI 1993. "Fundamental Equations for Residential and Commercial End- Uses" (Rep. #EPRI TR-100984 V2). Palo Alto, California: Eletric Power Research Institute.
25. Fels, M. (ed.)1986. "Special Issue Devoted to Measuring Energy Savings, The Princeton Scorekeeping Method (PRISM)", Energy and Buildings, Vol. 9, Nos. 1 and 2.
26. Fels, M., Kissock, K., Marean, M.A. e Reynolds, C. 1995. "Advanced PRISM User's Guide", Center for Energy and Environmental Studies Report, Princeton University, Princeton, New Jersey, January.
27. FEMP – Federal Energy Management Program of the U.S. Department of Energy, 2000. "M&V Guidelines: Measurement and Verification for Federal Energy Projects Version 2.2"
28. FEMP – Federal Energy Management Program of the U.S. Department of Energy, 2002. "Detailed Guidelines for FEMP M&V Option A"
29. Goldberg, M.L. 1996a. "The Value of Improved Measurements: Facing the Monsters That Won't Annihilate Each Other", Energy Services Journal, 2(1):43- 56.
30. Goldberg, M.L. 1996b. "Reasonable Doubts: Monitoring and Verification for Performance Contrating", Proceedings of the ACEEE 1996 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, 4.133-4.143 Washington, D.C.: American Council for an Energy-Efficient Economy.
31. Haberl, J., Bronson, D. e O'Neal, D. 1995. "Impat of Using Measured Weather Data vs. TMY Weather Data in a DOE-2 Simulation", ASHRAE Transations, V. 105, Pt. 2, June.
32. Haberl, J., Reddy, A., Claridge, D., Turner, D., O'Neal, D. and Heffington, W. 1996. "Measuring Energy-Savings Retrofits: Experiences from the Texas LoanSTAR Program", Oak Ridge National Laboratory Report No. ORNL/Sub/93-SP090/1, February.
33. Haberl, J., Turner, W.D., Finstad, C., Scott, F. e Bryant, J. 1992. "Calibration of Flowmeters for use in HVAC Systems Monitoring", Proceedings of the 1992 ASME/JSES/KSES International Solar Energy Conference.
34. Hadley, D.L. e Tomich, S.D. 1986. "Multivariate Statistical Assessment or Meteorological Influences in Residence Space Heating", Proceedings of the ACEEE 1986 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 9, pp. 9.132-9.145.

35. Harding, J. (ed). 1982. "Recent Advances in Chilled Mirror Hygrometry", General Eastern Corporation Technical Bulletin, 50 Hunt Street, Watertown, Massachusetts.
36. Heinemeier, K. e Akbari, H. 1993. "Energy Management and Control Systems and Their Use for Performance Monitoring in the LoanSTAR Program", Lawrence Berkeley National Laboratory Report No. LBL-33114- UC-350, June, (preparado para o Texas State Energy Conservation Office).
37. Houcek, J., Liu, M., Claridge, D., Haberl, J., Katipamula, S. e Abbas, M. 1993. "Potential Operation and Maintenance (O&M) Savings at the State Capitol Complex", Energy Systems Lab Technical Report No. ESL-TR-93/01- 07, Texas A&M University, College Station, Texas.
38. Huang, P. 1991. "Humidity Measurements and Calibration Standards", ASHRAE Transactions, Vol. 97, p.3521.
39. Hurley, C.W. e Schooley, J.F. 1984. "Calibration of Temperature Measurement Systems Installed in Buildings", N.B.S. Building Science Series Report No. 153, January.
40. Hurley, W. 1985. "Measurement of Temperature, Humidity, and Fluid Flow", Field Data Acquisition for Building and Equipment Energy Use Monitoring, ORNL Publication No. CONF-8510218, March.
41. Hyland, R.W. e Hurley, C.W. 1983. "General Guidelines for the On-Site Calibration of Humidity and Moisture Control Systems in Buildings", N.B.S. Building Science Series 157, September.
42. IPCC 1995. Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. Contribution of Working Group II to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva, Switzerland. pp 64.
43. Katipamula, S. 1996. "The Great Energy Predictor Shootout II: Modeling Energy Use in Large Commercial Buildings", ASHRAE Transactions, Vol. 102, Pt 2.
44. Katipamula, S. e Haberl, J. 1991. "A Methodology to Identify Diurnal Load Shapes for Non-Weather-Dependent Electric End-Uses", Proceedings of the 1991 ASME-JSES International Solar Energy Conference, ASME, New York, New York, pp. 457-467, March.
45. Kats, G., Kumar, S., e Rosenfeld, A. 1999. "The Role for an International Measurement & Verification Standard in Reducing Pollution", Proceedings of the ECEEE 1999 Summer Study, Vol. 1, Panel 1.
46. Kats, G., Rosenfeld, A., e McGaraghan, S. 1997. "Energy Efficiency as A Commodity: The Emergence of an Efficiency Secondary Market for Savings in Commercial Buildings", Proceedings of the ECEEE 1997 Summer Study, Vol. I, Panel 2.
47. Kissock, K., Claridge, D., Haberl, J. e Reddy, A. 1992. "Measuring Retrofit Savings For the Texas LoanSTAR Program: Preliminary Methodology and Results", Solar Engineering, 1992: Proceedings of the ASME-JSES-SSME International Solar Energy Conference, Maui, Hawaii, April.
48. Kissock, K., Wu, X., Sparks, R., Claridge, D., Mahoney, J. e Haberl, J. 1994. "EModel Version, 1.4d", Energy Systems Laboratory ESL-SW-94/12-01, Texas Engineering Experiment Station, Texas A&M University System, December.
49. Knebel, D.E. 1983. "Simplified Energy Analysis Using the Modified Bin Method", ASHRAE, Atlanta, Georgia, ISBN 0-910110-39-5.
50. Kulwicki, B. 1991. "Humidity Sensors", Journal of the American Ceramic Society, Vol. 74, pp. 697-707.
51. Landman, D. e Haberl, J. 1996a. "Monthly Variable-Based Degree Day Template: A Spreadsheet Procedure for Calculating 3-parameter Change-point Model for Residential or Commercial Buildings", Energy Systems Laboratory Report No. ESL-TR-96/09-02.

52. Landman, D. e Haberl, J. 1996b. "A Study of Diagnostic Pre-Screening Methods for Analyzing Energy Use of K-12 Public Schools", Energy Systems Laboratory Report No. ESL-TR-96/11-01, November.
53. Leider, M. 1990. A Solid State Amperometric Humidity Sensor, Journal of Applied Electrochemistry, Chapman and Hill: Vol. 20, pp. 964-8.
54. Liptak, B. 1995. Instrument Engineers' Handbook, 3rd Edition: Process Measurement and Analysis. Chilton Book Company, Radnor, Pennsylvania, ISBN 0-8019-8197-2.
55. Miller, R. 1989. Flow Measurement Handbook, McGraw Hill Publishing Company, New York, New York, ISBN 0-07-042046-7.
56. Morrissey, C.J. 1990. "Acoustic Humidity Sensor", NASA Tech Brief. Vol. 14, No. 19, April, (acoustic).
- 56a. ORNL (1999) "A Practical Guide for Commissioning Existing Buildings" Prepared by Portland Energy Conservation Inc., for Oak Ridge National Laboratory (ORNL/TM-1999/34) Disponível em <http://eber.ed.ornl.gov/commercialproducts/retrocx.htm>
57. Rabl, A. 1988. "Parameter Estimation in Buildings: Methods for Dynamic Analysis of Measured Energy Use", Journal of Solar Energy Engineering, Vol. 110, pp. 52-66.
58. Rabl, A. e Riahle, A. 1992. "Energy Signature Model for Commercial Buildings: Test With Measured Data and Interpretation", Energy and Buildings, Vol. 19, pp.143-154.
59. Ramboz, J.D. e McAuliff, R.C. 1983. "A Calibration Service for Wattmeters and Watt-Hour Meters", N.B.S. Technical Note 1179.
60. Reddy, T. e Claridge, D. 2000. "Uncertainty of "Measured" Energy Savings From Statistical Baseline Models," ASHRAE HVAC&R Research, Vol 6, No 1, January 2000.
61. Reynolds, C. e Fels, M. 1988. "Reliability Criteria for Weather Adjustment of Energy Billing Data", Proceedings of ACEEE 1988 Summer Study on Energy Efficiency in Buildings, Vol. 10, pp.10.237-10.241.
62. Robinson, J., Bryant, J., Haberl, J. e Turner, D. 1992. "Calibration of Tangential Paddlewheel Insertion Flowmeters", Proceedings of the 1992 Hot and Humid Conference, Texas A&M University, Energy Systems Laboratory Report No. ESL-PA-92/02-09.
63. Ross, I.J. e White, G.M. 1990. "Humidity", Instrumentation and Measurement for Environmental Sciences: Transactions of the ASAE, 2nd ed., p. 8-01.
64. Ruch, D. e Claridge, D. 1991. "A Four Parameter Change-Point Model for Predicting Energy Consumption in Commercial Buildings", Proceedings of the ASME-JSES-JSME.
65. SEL 1996. TRNSYS Version 14.2, and Engineering Equation Solver (EES). Solar Energy Laboratory, Mechanical Engineering Department, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin.
66. Soebarto, V. 1996. "Development of a Calibration Methodology for Hourly Building Energy Simulation Models Using Disaggregated Energy Use Data From Existing Buildings", Ph.D. Dissertation, Department of Architecture, Texas A&M University, August.
67. Sparks, R., Haberl, J., Bhattacharyya, S., Rayaprolu, M., Wang, J. e Vadlamani, S. 1992. "Testing of Data Acquisition Systems for Use in Monitoring Building Energy Conservation Systems", Proceedings of the Eighth Symposium on Improving Building Systems in Hot and Humid Climates, Dallas, Texas, pp.197-204, May.
68. Vine, E. e Sathaye, J. 1999. "Guidelines for the Monitoring, Evaluation, Reporting, Verification, and Certification of Energy-Efficiency Projects for Climate-Change Mitigation", LBNL Report # 41543.
69. Violette, D., Brakken, R., Schon, A. e Greef, J. 1993. "Statistically-Adjusted Engineering Estimate: What Can The Evaluation Analyst Do About The Engineering Side Of The

Analysis?" Proceedings of the 1993 Energy Program Evaluation Conference, Chicago, Illinois.

70. Wiesman, S. (ed.) 1989. Measuring Humidity in Test Chambers, General Eastern Corporation, 50 Hunt Street, Watertown, Massachusetts.
71. Wise, J.A. 1976. "Liquid-In-Glass Thermometry", N.B.S. Monograph 150, January.
72. Wise, J.A. e Soulen, R.J. 1986. "Thermometer Calibration: A Model for State Calibration Laboratories", N.B.S. Monograph 174, January.
73. WRI (2007) Guidelines for Grid-Connected Electricity Projects of the GHG Protocol for Project Accounting, planned for 2007 publication by the World Resources Institute (WRI) and the World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), disponível em www.ghgprotocol.org.

10.1 Outros recursos

As seguintes organizações americanas fornecem informações úteis e relevantes. A EVO tenta manter na sua página na web (www.evo-world.org) uma lista atualizada dos seguintes recursos e de todos os outros links da web mencionados neste documento:

1. Air Conditioning and Refrigeration Center, Mechanical Engineering, University of Illinois. TEL: 217-333-3115, <http://acrc.me.uiuc.edu>.
2. American Council for an Energy Efficient Economy (ACEEE), Washington, D.C. TEL: 202-429-8873, <http://www.aceee.org>.
3. American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), Atlanta, Georgia. TEL: 404-636-8400, <http://www.ashrae.org>.
4. American Society of Mechanical Engineers (ASME), New Jersey. TEL: 800-843-2763. <http://www.asme.org>.
5. Association of Energy Engineers (AEE), Lilburn, GA. TEL: 404-925-9558, <http://www.aeecenter.org>.
6. Boiler Efficiency Institute, Department of Mechanical Engineering, Auburn University, Alabama. TEL: 334/821-3095, <http://www.boilerinstitute.com>.
7. Center for Energy and Environmental Studies (CEES), Princeton University, New Jersey. TEL: 609-452-5445, <http://www.princeton.edu/~cees>.
8. Edison Electric Institute (EEI). Washington, DC. TEL: 202-508-5000, <http://www.eei.org/resources/pubcat>.
9. Energy Systems Laboratory, College Station, Texas. TEL: 979-845-9213, <http://www-esl.tamu.edu>.
10. Florida Solar Energy Center, Cape Canaveral, Florida. TEL: (407) 638- 1000, <http://www.fsec.ucf.edu>.
11. IESNA Publications, New York, New York. TEL: 212-248-5000, <http://www.iesna.org>.
12. Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), Berkeley CA. TEL: 510- 486-6156, Email: EETDinfo@lbl.gov, <http://eetd.lbl.gov>.
13. National Association of Energy Service Companies (NAESCO), Washington, D.C. TEL: 202-822-0950, <http://www.naesco.org>.
14. Energy Information Administration (EIA), Department of Energy, Washington, D.C., TEL: 202-586-8800, <http://www.eia.doe.gov>.
15. National Renewable Energy Laboratory (NREL), Boulder, Colorado, TEL: (303) 275-3000, <http://www.nrel.gov>.
16. National Technical Information Service (NTIS), U.S. Department of Commerce (This is repository for all publications by the Federal labs and contractors), Springfield Virginia. TEL: 703-605-6000, <http://www.ntis.gov>.

17. Oak Ridge National Laboratory (ORNL), Oak Ridge, Tennessee,
Tel: (865) 574-5206, <http://www.ornl.gov/ORNL/BTC>.
18. Pacific Northwest National Laboratory (PNNL), Richland, Washington,
Tel: (509) 372-4217, <http://www.pnl.gov/buildings/>.

A-1 Introdução

Este anexo apresenta uma variedade de tipos de projeto e analisa questões chave de concepção de *M&V* resultantes das situações descritas. Cada exemplo mostra apenas uma única concepção de *M&V* aderente ao PIMVP, embora possam haver várias concepções possíveis para qualquer projeto.

Os exemplos cobrem 12 cenários diferentes:

- Melhoria da eficiência de uma motobomba (A-2)
- Deslocamento de demanda de uma motobomba (A-2-1)
- Eficiência na iluminação (A-3)
- Controle operacional da iluminação (A-3-1)
- Eficiência na iluminação pública e regulação de intensidade (A-3-2)
- Gestão de fugas de ar comprimido (A-4)
- Melhoria do conjunto turbina/gerador (A-5)
- Melhoria da eficiência da caldeira (A-6)
- Múltiplas *MREs* com dados de medições de *referência* (A-7)
- Contabilização da energia de toda a instalação em relação ao orçamento (A-7-1)
- Múltiplas *MREs* num edifício sem medidores de energia durante o *período de referência* (A-8)
- Novo edifício com projeto melhor do que as normas de eficiência (A-9)

Estes exemplos entram em diversos níveis de profundidade, de modo a realçar diferentes características de abordagens comuns de *M&V*. Nenhuma delas é completa. Os leitores são remetidos para a página da web dos assinantes da EVO para consultar *Planos de M&V* mais completos e exemplos de relatórios de *economia* (www.evo-world.org). Para além disso, o Volume III do PIMVP contém exemplos de aplicações de *M&V* para novos edifícios e projetos de energias renováveis.

Os assinantes da EVO são encorajados a submeter os seus próprios exemplos para uma possível inclusão na biblioteca da página da web (enviar por correio eletrónico para: ipmvp@evo-world.org).

A-2 Melhoria da eficiência de uma motobomba – Opção A

Situação Dez conjuntos de bombas de rega encontram-se distribuídos à volta de uma propriedade agrícola sul africana, para bombear de poços subterrâneos. A operação de bombear é habitualmente contínua durante a estação seca anual de seis meses, embora as bombas sejam ligadas e desligadas manualmente se necessário. A empresa local do setor energético ofereceu um subsídio parcial para substituir as bombas por novas bombas e motores de alta eficiência. Para efetuar o pagamento final do subsídio, a concessionária requereu uma demonstração a curto-prazo do consumo de energia evitado sob uma forma que adira ao PIMVP. O proprietário interessado na substituição das suas velhas bombas e em reduzir os custos de energia, pagou assim o balanço dos custos de instalação e concordou em fornecer dados à concessionária após a *MRE*.

Fatores que afetam a concepção da *M&V* A contagem do consumo de eletricidade das bombas é feita por 5 medidores de consumo propriedade da concessionária. Estes medidores medem apenas as 10 bombas. Antes da implementação do projeto foi considerado possível que as novas bombas pudessem aumentar as taxas de bombeamento em alguns poços, de modo a que as horas de bombeamento pudessem ser reduzidas. O

proprietário e a concessionária reconhecem que as horas de funcionamento e conseqüentemente a *economia* dependem das condições crescentes e precipitação de cada ano. Nenhuma das partes tem controle sobre estas variáveis que influenciam o consumo de energia.

O proprietário procurou o custo mais baixo possível para recolher e relatar a informação à concessionária. O proprietário contratou um promotor de contratos para selecionar e instalar bombas que fossem de encontro às suas especificações e às da concessionária.

O fluxo da bomba é constante quando esta funciona porque não há válvulas de restrição e a profundidade do poço não é afetada pelo bombeamento.

Plano de M&V O Plano de M&V foi desenvolvido em conjunto pelo proprietário e pela concessionária, seguindo o modelo fornecido pela concessionária. Foi selecionada a Opção A do Volume I do PIMVP, EVO 1000 – 1:2007, para minimizar os custos de M&V. O método acordado da Opção A é negociar uma *estimativa* das horas anuais de funcionamento da bomba num ano normal e multiplicar esse número por reduções medidas de energia.

Foi acordado que a instalação do equipamento de medição do promotor de contratos teria uma precisão adequada para medir os requisitos de potência do motor. Antes da substituição, o promotor de contratos mediu a potência consumida por cada motor velho em funcionamento durante pelo menos 3 horas. A concessionária manteve o direito de testemunhar estas medições. Uma vez que as bombas têm um fluxo constante, a média anual das horas de funcionamento foram obtidas a partir do consumo de kWh da fatura da eletricidade do ano Deslocamento de demanda de uma bomba/motor (A-2-1)

O pagamento final do subsídio da concessionária baseou-se na *economia* de energia de 130.000 kWh.

Usando os mesmos períodos de funcionamento *estimados*, a *economia estimada* do proprietário sob condições normais de precipitação e aos preços atuais da concessionária foi determinada em $132.902 \text{ kWh/ano}^{23} \times R0.2566/\text{kWh} = R34\ 000/\text{ano}^{24}$. Os serviços e as despesas de rede da concessionária ficaram inalterados.

A-2.1 Deslocamento de demanda de uma motobomba – Opção B

Situação O sistema de rega descrito no anexo A-2 descrito acima, foi também elegível para um incentivo substancial da concessionária se as bombas forem mantidas desligadas durante os períodos de ponta das 07.00-10.00 e das 18.00-20.00 todos os dias da semana que não sejam feriados. O proprietário instalou um sistema de controle baseado num sinal de rádio para controlar as bombas à distância e automaticamente para poder implementar esta estratégia de variação da carga. O controle da bomba será reiniciado anualmente pelo proprietário de acordo com o calendário dos dias feriados do ano seguinte.

Fatores que afetam a concepção da M&V O proprietário acreditou que reduzir o bombeamento para um máximo de 25 horas por semana (15%) não seria crítico para o seu funcionamento nas estações secas (Ele esperava menos avarias nas novas bombas, por isso não haveria um impacto líquido no seu crescimento na estação seca).

A concessionária reconhece que o proprietário possa decidir desligar as bombas baseado nas suas próprias necessidades. Por conseguinte, a concessionária requereu à adesão à Opção B do Volume I do PIMVP, EVO 10000 – 1:2007, para justificar o desempenho energético de cada ano, antes de efetuar o pagamento de incentivo.

O proprietário achou que o seu período de reembolso financeiro para o equipamento de controle e monitoramento já era muito longo. Por conseguinte, não quer gastar uma parte significativa do incentivo em fornecer as provas exigidas pela concessionária.

²³ 132.902 é o valor real calculado antes do arredondamento em dígitos significativos.

²⁴ Esta quantidade pode ser expressa com não mais de 2 dígitos significativos, como explicam as observações mencionadas acima acerca do número mínimo de dígitos significativos. O valor real calculado é R34.103 e deveria ser melhor expresso como $R3,4 \times 10^4$, embora 34.000 seja o formato normal de divisa.

Plano de M&V A concessionária e o proprietário concordaram que o registro contínuo de uma variável *representante* evidenciaria que as bombas estiveram desligadas durante cada período de ponta durante o ano inteiro. A variável *representante* é a presença de fluxo de eletricidade (acima dos 500mA requeridos pelo equipamento de controle) através de qualquer uma das 5 alimentações elétricas das 10 bombas. Pequenos sensores de corrente não calibrados e registradores de dados foram instalados em cada linha de força perto dos 5 medidores. Os sensores e registradores têm um sistema de alimentação com uma bateria de apoio recarregável.

O proprietário contratou o fornecedor dos dispositivos de controle e monitoramento para ler os dados anualmente, verificar a regulação dos relógios e apresentar um relatório à concessionária acerca das datas e períodos de qualquer operação durante todos os períodos de ponta dos dias da semana.

Resultados Durante o primeiro ano, após a implementação do sistema de controle e monitoramento, o agente de monitoramento reportou à concessionária que a potência foi utilizada entre as 18.00 horas e as 20.00 horas em 5 dias da semana específicos. A concessionária verificou que esses dias foram todos dias feriados, assim não houve operações durante os períodos de ponta definidos. A variação da Demanda foi determinada em 98,2 kW, a partir da medição das novas bombas (ver anexo A-2). O incentivo anual da concessionária foi calculado e pago baseado nesta Opção B, que registrou uma variação da Demanda de 98,2 kW.

A-3 Eficiência da iluminação – Opção A

Situação Aparelhos de iluminação mais eficientes são instalados no lugar dos aparelhos de iluminação existentes numa escola canadiana, mantendo o mesmo nível de iluminação. Este projeto foi parte de um programa mais vasto do conselho executivo da escola para contratar um promotor de contratos, que iria conceber, instalar e financiar muitas alterações num certo número de escolas. Os pagamentos, em conformidade com o contrato, baseiam-se na *economia* medida aos preços da concessionárias, que prevaleciam na altura da assinatura do contrato. A *economia* deve ser demonstrada, de acordo com um *Plano de M&V* que adere ao PIMVP, imediatamente após a colocação em serviço da MRE. Uma vez que o proprietário controla o funcionamento das luzes, o contrato especificava que o *Plano de M&V* devia seguir a Opção A do Volume I do PIMVP, EVO 10000 – 1:2007, usando horas de funcionamento *estimadas*. O *Plano de M&V* devia ser detalhado após a assinatura do contrato.

Fatores que afetam a concepção da M&V Ao desenvolver o *Plano de M&V* foram considerados os seguintes pontos:

- Todos os aparelhos de iluminação são alimentados por um sistema de fornecimento comum de 347 volt dedicado à iluminação. Esta situação torna simples a medição da potência.
- O funcionamento da iluminação afeta significativamente os requerimentos de energia para o aquecimento, por isso o *efeito interativo* precisa de ser estimado.
- O funcionamento da iluminação afeta significativamente os requerimentos mecânicos de resfriamento. No entanto, uma vez que muito pouco espaço da escola é mecanicamente arrefecido e esse espaço encontra-se habitualmente vazio durante o tempo mais quente, os *efeitos interativos* do resfriamento foram ignorados.
- Os funcionários do conselho executivo da escola tiveram dificuldade em aceitar uma suposição arbitrária dos períodos de funcionamento da iluminação. Concordaram em pagar um período de dois meses cuidadosamente instrumentado de armazenamento dos padrões de iluminação numa das escolas. Este teste iria justificar as horas de funcionamento *estimadas*, que seriam acordadas para todas as escolas.

Plano de M&V O *limite de medição* desta MRE foi estabelecido de modo a incluir os aparelhos de iluminação ligados ao sistema de fornecimento de 347 volts.

- O *efeito interativo* do aquecimento foi determinado por cálculos de engenharia como sendo de 6,0% de aumento no consumo de energia da caldeira, no período que vai de Novembro a Março. A eficiência da caldeira no Inverno foi estimada em 79% sob condições típicas de Inverno.
- Os *fatores estáticos* registrados para o *período de referência* incluíam uma pesquisa sobre a utilização da iluminação dando uma descrição, localização, nível de iluminação e uma contagem do número de reatores e aparelhos de iluminação em funcionamento e com lâmpadas queimadas.
- 30 registradores da iluminação foram colocados aleatoriamente em salas de aula escolhidas, corredores, balneários e escritórios e também no ginásio e no auditório, durante dois meses. Este período incluiu uma semana de férias da Páscoa e dois feriados. O Quadro A-3-1 resume os dados obtidos.

Local	Fração da carga de iluminação	Média de horas semanal	
		Tempo de escola	Tempo de férias
Balneários	5%	106	22
Escritórios	5%	83	21
Salas de aula	61%	48	5
Auditório	10%	31	11
Ginásio	10%	82	25
Corredores	9%	168	168

Quadro A-3-1 Pesquisa do período de funcionamento

Uma vez que as salas de aula representam a carga maior, a *precisão relativa* das medições do período de funcionamento da sala de aula foi avaliado antes dos funcionários do conselho executivo poderem concordar com os valores *estimados*. Para os registradores das 19 salas de aula, o *desvio padrão* entre as leituras de 6 semanas de escola gravadas foi determinado em 15 horas por semana. Com $19 \times 6 = 114$ leituras, o *erro padrão* nos valores *médios* foi calculado em 1,4 horas por semana (Equação B-4). Com o intervalo de *confiança* a 95%, o valor de t para um grande número de observações é 2,0 (Quadro B-1). Por conseguinte, usando a Equação B-7, ficou estabelecido com 95% de *confiança* que a *precisão relativa* nas horas medidas de funcionamento da sala de aula é:

$$= \frac{2.0 \times 1.4}{48} = 5.8\%$$

Os funcionários do conselho executivo consideraram adequada esta *precisão* de medição. Antes de estimar valores para todas as escolas, foi decidido acrescentar 6 horas por semana à horas da sala de aula por causa dos planos para aumentar as aulas do ensino noturno. Tendo em consideração que há 39 semanas de escola e 13,2 semanas de férias num ano normal (com anos bissextos), concordou-se que as horas *estimadas* de funcionamento anual fossem as seguintes:

Quadro A-3-2 Horas estimadas de funcionamento

Local	Fração da carga de iluminação	Horas semanais estimadas		Horas anuais estimadas
		39 semanas de escola	13,2 semanas de férias	
Balneários	5%	106.	22.	4 424
Escritórios	5%	83.	21.	3 514
Salas de aula	61%	54.	5.	2 172
Auditório	10%	31.	11.	1 354
Ginásio	10%	82.	25.	3 528
Corredores	9%	168.	168.	8 770

Desde que o re-equipamento da iluminação foi aplicado uniformemente a todos os aparelhos de iluminação, a média da carga anual *estimada* das horas de funcionamento para esta escola foi determinada em 2 999, ou 3 000 arredondado em 2 dígitos significativos.

- As medições da energia do *período de referência* foram feitas com um medidor de watt rms recentemente calibrado da potência trifásica retirada dos circuitos de iluminação de 347 volts. A partir de uma medição de trinta segundos na entrada dos dois transformadores do sistema de iluminação, constatou-se que com todos os aparelhos de iluminação ligados, a potência total retirada foi de 288 kW. Setenta lâmpadas (= 3 kW ou 1%) estavam fundidas na altura do teste. Determinou-se que a fração fundida no momento desta medição era normal.
- Uma vez que as cargas de iluminação estabelecem a ponta do consumo elétrico do edifício numa altura em que todas as lâmpadas estão acesas, a *economia* na Demanda elétrica serão estimadas como sendo as mesmas da redução de carga medida nos circuitos de iluminação. As contas da concessionária mostraram uma Demanda inferior durante as férias de Verão e houve uma utilização mínima da instalação durante estes meses. Além disso, tendo em consideração o outro equipamento usado durante o Verão, calculou-se a Demanda do circuito de iluminação de Julho e Agosto de apenas 50% da carga de pico do circuito medida.
- Os preços marginais da concessionária no momento da assinatura do contrato eram de CDN\$0,063/kWh, CDN\$10,85/kW-mês, e CDN\$0,255/m³ para o gás.

Resultados Após a instalação da *MRE*, a potência do circuito de iluminação foi novamente medida como tinha sido para o teste de *período de referência*. A potência retirada era de 162 kW com todas as lâmpadas acesas e nenhuma fundida. Com a mesma taxa de lâmpadas fundidas de 1% como no ano de base, a potência máxima do período pós re-equipamento seria de 160 kW (=162 x 0,99). Por conseguinte, a redução da potência é de 288 – 160 = 128 kW.

A *economia* de energia (usando a Equação 1d) sem ajustes) é de 128 kW x 3.000 horas/ano = 384.000 kWh/ano.

A *economia* na Demanda é de 128 kW para 10 meses e de 64 kW para 2 meses, para um total de 1.408 kW/mês.

O valor da *economia* elétrica *estimada* sob a Opção A do PIMVP é de:

$$(384.000 \text{ kWh} \times \$0,063) + (1.408 \times \$10,85) = \text{CDN}\$39.469$$

Supondo que a *economia* do sistema de iluminação é obtida uniformemente durante um período de 10 meses, a *economia* elétrica de mês típico de Inverno é de 384.000/10 = 38.400 kWh/mês. O aumento associado à carga da caldeira é de 6,0% desta *economia* elétrica de Novembro a Março, a saber:

$$= 6,0\% \times 38.400 \text{ kWh/mês} \times 5 \text{ meses} = 11.520 \text{ kWh}$$

A energia extra de entrada da caldeira é de:

= $11.520 \text{ kWh} / 79\% = 14.582 \text{ kWh}$ unidades equivalentes de entrada de combustível

O gás usado na caldeira tem um teor de energia de $10,499 \text{ kWh/m}^3$, a quantidade de gás extra é de $= 14.582 / 10,499 = 1.389 \text{ m}^3$ gás

O valor do gás extra usado no Inverno é de $1.389 \times \$0,255 = \text{CDN}\354 . Por conseguinte, a *economia* líquida total é de $\$39.469 - \$354 = \text{CDN}\$39.115$. Este número é arredondado para $\text{CDN}\$39.000$, mostrando o número mais baixo de *dígitos significativos* de qualquer um dos valores usados acima.

A-3-1 Controle operacional da iluminação – Opção A

Situação Uma fábrica de malhas no sul da Índia funciona habitualmente em 2 turnos por dia. Havia uma instrução permanente para que os supervisores desligassem todos os circuitos de iluminação em cada zona no final do segundo turno. Há 70 interruptores. Os supervisores alternavam regularmente o trabalho entre o primeiro e segundo turnos. Esquecendo habitualmente o seu dever de desligar a iluminação.

O gestor da fábrica promoveu um projeto para modificar a iluminação de modo a que os sensores de presença acendessem e apagassem as luzes. Queria documentar os resultados para mostrar aos supervisores a sua fraca utilização dos interruptores.

Fatores que afetam a concepção da M&V Nenhuma das áreas de produção tinha janelas ou clarabóias. Não são aquecidas nem refrigeradas. Os circuitos de iluminação estão integrados com outras cargas elétricas, de modo que a utilização da iluminação não podia ser facilmente isolada das outras utilizações da eletricidade.

O gestor da fábrica não desejava perder muito tempo a determinar a *economia*, mas necessitava de uma declaração credível da *economia*.

O preço da eletricidade para usuárieos não domésticos de tamanho médio (empresas médias) é de 450 p/kWh .

Plano de M&V Para minimizar os custos de M&V, decidiu-se realizar medições de *economia* apenas durante um curto período representativo e utilizar a Opção A do Volume I do PIMVP, EVO 1000 – 1:2007. Uma vez que o objetivo principal da MRE era controlar as horas de iluminação da área de produção, foi desenvolvido um método baseado numa amostra para medir a mudança nas horas de funcionamento. A potência do sistema de iluminação (para usar na Equação 1d)) foi *estimada* a partir das taxas do fabricante como sendo de 223 kW .

Registadores de iluminação foram colocados ao acaso à volta da área de produção para registrar as horas de funcionamento de zonas de iluminação escolhidas aleatoriamente. O número de registadores foi escolhido da seguinte forma, para obter uma *precisão* global nas estimativas do período de funcionamento de $\pm 10\%$, com um intervalo de *confiança* de 90% . Calculava-se que as horas *médias* de funcionamento antes da instalação dos sensores de presença seriam de 125 horas por semana e que o *desvio padrão* nas leituras seria de 25. Por conseguinte, o *cv* inicialmente estimado é de $0,2$ e o número de amostras necessário (com z de $1,96$) é de 15 (Equação B-11). Uma vez que há apenas 70 zonas, o ajuste de população finita baixa o número estimado de registadores necessários para 12 (Equação B-12). Calculou-se que depois da instalação dos sensores de presença o *cv* fosse muito mais baixo por isso os 12 registadores serão adequados.

Não há *efeitos interativos* desta MRE noutras cargas do edifício porque a fábrica não tem aquecimento nem ar condicionado. Espera-se que a redução da iluminação durante a noite torne o edifício termicamente mais confortável no início do turno da manhã.

Resultados Após o período de um mês, foram recolhidos os dados dos registadores e as horas de funcionamento médio semanal calculadas para as 12 zonas. O valor *médio* foi de 115 e o *desvio padrão* de 29. Por conseguinte, o *cv* foi de $0,24$ ($= 29 / 115$), mais elevado do que o valor esperado e pior do que o necessário para responder à exigência de *precisão*. Por conseguinte, foi realizado um outro mês de registros. Então a *média* das oito semanas de valores médios semanais foi de 118 e o *desvio padrão* de 24 ($cv = 0,20$). Esta foi

considerada uma medição adequada das horas de funcionamento do *período de referência*, sem sensores de presença.

Os controles dos sensores de presença foram instalados depois do teste do *período de referência* mencionado acima. As horas de funcionamento foram de novo registradas nos mesmos locais durante um mês. A *média* foi de 82 horas por semana e o *desvio padrão* foi de 3 horas. Nesta situação o *cv* é de 0,04 e bem dentro dos 0,2 exigido, assim as leituras de um mês foram aceites. Não ocorreu nenhuma alteração em relação à forma como a fábrica foi usada ou ocupada, por isso não há necessidade de fazer qualquer *ajuste não periódico* aos dados do *período de referência*.

A redução nas horas de funcionamento foi de $118 - 82 = 36$ horas por semana. A *economia* foi calculada usando a Equação 1d) como:

$$223 \text{ kW} \times 36 \text{ horas/semana} = 8\,028 \text{ kWh/semana}$$

Com 48 semanas de funcionamento por ano, o valor anual da *economia* no consumo é de:

$$= 8\,028 \times 48 \times 450 / 100 = \text{Rs } 1,7 \text{ milhões}$$

Não há *economia* na Demanda uma vez que a MRE afeta apenas o consumo de energia fora do período de cheias .

Por conseguinte, seguindo a Opção A do PIMVP, pode-se declarar com 90% de *confiança* que a *economia*, no mês após a instalação dos sensores de presença, era de $\text{Rs}17 \pm 10\%$, dada a estimativa da carga de iluminação instalada.

A-3-2 Eficiência na iluminação pública e regulação de intensidade – Opção B

Situação O sistema de iluminação pública de uma cidade croata necessitava de uma reparação e atualização substanciais. Um novo sistema de iluminação foi instalado na mesma cablagem, incluindo dispositivos de iluminação de alta eficiência e um sistema de regulação de luminosidade que diminui a potência da iluminação até 50% nas horas mais calmas. A iluminação é distribuída através da cidade, com 23 pontos de contagem. A MRE incluía a adição de um controle de intensidade centralizado. A cidade manteve o atual promotor de contratos da manutenção da iluminação para conceber, instalar e manter o sistema. A cidade obteve uma garantia de desempenho energético da *economia* do promotor de contratos. A cidade exigiu ao promotor de contratos a demonstração contínua da obtenção da *economia* garantida.

Fatores que afetam a concepção de M&V Os níveis de iluminação do *período de referência* eram inconsistentes porque 20% dos aparelhos de iluminação estavam fundidos. A cidade desejava manter um nível de iluminação mais uniforme. Por conseguinte, atualizou o seu contrato de manutenção da iluminação pública para especificar que os aparelhos fundidos não ultrapassassem os 3% em qualquer altura.

Uma vez que a intensidade é crítica para a *economia*, o registro contínuo do consumo de energia é necessário. Os 23 medidores do comercializador de eletricidade medem continuamente o consumo de energia. No entanto, estes medidores não podem fornecer uma rápida informação operacional necessária para evitar desperdícios significativos de energia se um regulador de luminosidade falha ou é acidentalmente alterado. Consequentemente uma capacidade de registro de energia foi acrescentada ao sistema de comando central da intensidade, para registrar à distância o consumo de energia na estação de comando central da cidade. Para além do simples reportar da energia, o sistema compara o consumo de energia atual por hora em cada circuito a um perfil esperado por hora. As variâncias a este objetivo são usadas para detectar aparelhos fundidos e falhas no sistema de redução da intensidade.

Plano de M&V A eletricidade do *consumo de base* em todos os 23 medidores da concessionária durante o ano passado ascendeu a 1 753 000 kWh, nas contas da concessionária. O número e a localização de todos os aparelhos de iluminação no *período de referência* foram registrados como parte do *Plano de M&V*, juntamente com os pontos de referência de funcionamento do sistema de comando da iluminação.

A energia anual, registrada nas faturas para as mesmas contas será adicionada para determinar a *economia* usando a Opção B do Volume I do PIMVP, EVO 10000 – 1:2007, Equação 1c). Os únicos ajustes que serão feitos ao consumo de energia do *período de consumo de referência* ou do *pós-retrofit* será para adições ou supressões ao sistema e para aparelhos fundidos que ultrapassem os 3% a qualquer altura.

Um *ajuste não periódico* foi feito imediatamente para ter em conta a redução da taxa de aparelhos fundidos de 20% do *período de referência*, para o valor pretendido de 3% do *pós-retrofit*. A *energia do período de referência* foi portanto ajustado para 2 126 000 kWh (= 1 753,000 x 0,97 / 0,80).

O pessoal da manutenção da cidade irá monitorar mensalmente a taxa de aparelhos fundidos. Se a taxa de aparelhos fundidos for superior a 3%, será feito um *ajuste não periódico* para trazer os dados registrados do *pós-retrofit* até aos 3% contratados de taxa de aparelhos fundidos.

A *economia* será reportada para a duração do período de garantia de 10 anos, usando um único preço de 0,6 kuna/kWh.

Resultados A *economia* foi reportada sem ajustes durante os primeiros três anos após a MRE porque as taxas de aparelhos fundidos permaneceu acima dos 3%.

Durante o quarto ano, a taxa de aparelhos fundidos foi de 5% durante 7 meses. A *economia* do quarto ano foi calculada do seguinte modo:

Período de referência 2 126 000 kWh

Energia medida do quarto ano = 1 243 000 kWh

O ajuste dos aparelhos fundidos é =

$$\left(\frac{0,97}{0,95} - 1\right) \times \frac{7}{12} \times 1,243,000 = 15,000 \text{ kWh}$$

Energia ajustada do 4º ano = 1 243 000 + 15 000 = 1 258 000 kWh

Economia (energia evitada) = 2 126 000 – 1 258 000 = 868 000 kWh

Custo evitado = 868 000 kWh x 0,6 = kn 521.000

A-4 Gestão de fugas de ar comprimido – Opção B

Situação O departamento de engenharia de uma fábrica brasileira da indústria automóvel estimou que se estavam a perder R\$200 000 por ano através da fuga de ar comprimido devido à existência de uma fraca manutenção. O engenheiro da fábrica convenceu o gestor da fábrica de que o departamento de manutenção devia destacar uma pessoa para durante dois meses reparar todas as fugas. O departamento de engenharia concordou em realizar uma monitoramento contínua das taxas de fuga e da economia, de modo a motivar o pessoal da manutenção a verificar regularmente a existência de fugas.

Fatores que afetam a concepção da M&V Existem muito poucos fundos disponíveis para qualquer atividade de M&V. O departamento de engenharia também desejava que qualquer metodologia de medição da *economia* tivesse um erro máximo quantificável de ±5% em qualquer *economia* reportada, com um intervalo de *confiança* de 95%.

A fábrica funciona com 2 turnos por dia, 10 por semana e 442 por ano. Quando está em funcionamento a utilização do ar comprimido é constante. O calor dos compressores é rejeitado diretamente para fora da sala do compressor sem causar impacto em qualquer outro sistema de consumo de energia da fábrica.

A taxa local de consumo elétrico (conhecido como “taxa verde”) para clientes não domésticos com um baixo fator de carga superior a 0,5 MW é mostrada no Quadro A-4-1.

	Meses secos (Maio – Setembro)	Meses de chuva (Outubro – Abril)
Período de cheias (17:30-20:30 hrs Segunda a Sexta)	R\$0,957/kWh	R\$0,934/kWh
Períodos Vazio	R\$0,143/kWh	R\$0,129/kWh

Quadro A-4-1

Preços do
consumo de
eletricidade

Taxas totalizando 42,9% são adicionadas a estas taxas.

Calculou-se que o impacto na Demanda elétrica da fábrica fosse mínimo, uma vez que é provável que não haja nenhuma alteração no número máximo de compressores que irá operar durante o funcionamento da fábrica.

Plano de M&V Um *Plano de M&V* completo é apresentado na página da web dos assinantes da EVO (www.evo-world.org). Usa a Opção B do Volume I do PIMVP, EVO 10000 – 1:2007, para a medição contínua da *economia* para indicar alterações nas taxas de fuga de ar comprimido. A Equação 1b) do PIMVP foi usada para ajustar o *período de referência* às condições do *pós-retrofit*. O *Plano de M&V* tinha por objetivo minimizar os custos de medição extra, por isso um simples medidor de potência (wattímetro) rms trifásico foi adicionado à alimentação elétrica do centro de controle do motor, que alimenta todo o equipamento na sala do compressor. Este *limite de medição* englobava 6 compressores, 3 secadores de ar comprimido e todos os outros sistemas auxiliares menores na sala do compressor. O calor gerado dentro da sala do compressor não é um *efeito interativo* uma vez que não afeta nenhum outro consumo de energia. Foram dadas instruções ao pessoal da fábrica para ler o medidor no final de cada turno (isto é, três vezes ao dia) quer a fábrica estivesse a funcionar ou não. O medidor foi instalado três meses antes do início das atividades de gestão de fugas.

Os *fatores estáticos* relacionados com o design e operações da fábrica foram listados, como referência para qualquer possível *ajuste não periódico* futuro. Incluíam o número, a capacidade e os padrões de utilização de todo o equipamento que funciona a ar comprimido, a velocidade da linha de produção da fábrica e os modelos dos veículos a ser produzidos.

O consumo de eletricidade do *período de referência*, para turnos de funcionamento e de pausa, era bastante diferente. Também dentro de cada tipo de turno havia ligeiras variações no consumo de energia. Nenhuma *variável independente* específica pôde ser identificada para explicar as variações. Decidiu-se utilizar o consumo *médio* de energia para cada tipo de turno no *período de referência* para determinar a *economia*. Foi estabelecido um critério para determinar quando fossem feitas leituras suficientes do *período de referência* por turno para atingir o objetivo de 95/5 de objetivo de incerteza para qualquer relatório de *economia*.

Resultados Um conjunto completo de resultados de *economia* são apresentados na página da web dos assinantes da EVO. Descobriu-se que para atingir o critério de incerteza de 95/5, a variação na energia do turno durante o *período de referência* necessitava de leituras durante um período de sete semanas antes da MRE. Os valores do *período de referência* foram por conseguinte estabelecidos como o consumo médio de eletricidade de sete semanas de turnos de funcionamento e de pausa.

Verificou-se que após a atividade de reparação das fugas estar acabada, havia muito menos variação no consumo de energia por turno do *pós-retrofit*. Por conseguinte, o objetivo de incerteza pôde ser atingido com relatórios mensais de *economia*.

A *economia* de energia foi calculada como sendo a diferença entre o consumo real de energia todos os meses e o *período de referência ajustado*, determinado multiplicando o número de turnos reais por mês pelo consumo *médio* de energia do *período de referência* para cada tipo de turno.

O preço adequado da eletricidade foi aplicado à *economia* no consumo, supondo que as taxas do “período de cheias” da concessionária, eram aplicadas apenas a três horas dentro do segundo turno. Não foi calculada a *economia* da Demanda.

Estas medições continuaram como parte das operações normais da fábrica. O departamento de engenharia da fábrica ajustou o *período de referência* periodicamente à medida que os *fatores estáticos* se alteravam. O pessoal forneceu leituras de energia do turno e o departamento de engenharia reportou *economias* todos os meses. As variações dos padrões de *economia* passados tornaram-se um foco para avaliar as práticas de manutenção relacionadas com o sistema de ar comprimido.

A-5 Melhoria do conjunto turbina/gerador – Opção B

Situação Uma fábrica de pasta de papel usava uma turbina a vapor para gerar muita da sua própria eletricidade. Mudanças recentes do processo reduziram o vapor disponível para a unidade da turbina-gerador (TG) do seu nível original de concepção. Como resultado a eletricidade gerada e a eficiência térmica da unidade da TG foram reduzidas. A fábrica instalou um novo rotor mais eficiente concebido para o novo fluxo mais pequeno de vapor. Estabeleceu-se um processo de medição para avaliar o aumento do rendimento elétrico de modo a qualificar-se para um pagamento de incentivos da empresa de eletricidade.

Fatores que afetam a concepção da M&V O objetivo da M&V era reportar as melhorias elétricas. A fábrica reconheceu que a extração de mais energia pela turbina deixava menos vapor para o processo ou necessitava de mais energia da caldeira para fornecer o mesmo vapor ao processo. Estes *efeitos interativos* não faziam parte desta análise para a empresa de eletricidade. O incentivo da empresa de eletricidade baseava-se puramente no aumento da produção de eletricidade.

Plano de M&V A fábrica e a empresa de eletricidade concordaram em utilizar a Opção B do Volume I do PIMVP, EVO 1000 – 1:2007, para determinar o aumento da produção de eletricidade durante o período de um ano. A instrumentação existente na fábrica foi usada para determinar a eficiência do velho rotor como mostra a Figura A-5.1.

EFICIÊNCIA TÉRMICA DE BAIXA PRESSÃO ANTES DA ATUALIZAÇÃO

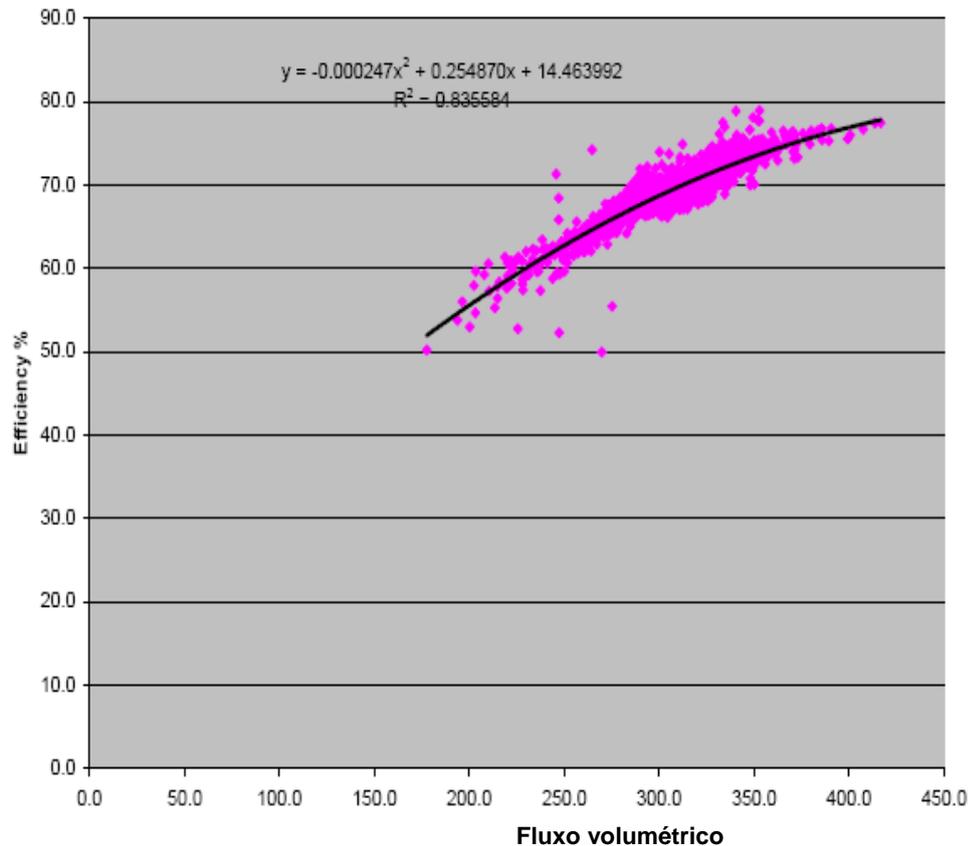


Figura A-5.1
Desempenho
energético
do velho rotor

O modelo matemático que descreve a eficiência da unidade do *período de referência* foi determinado através de uma análise de regressão como sendo de:

$$\text{Eficiência (\%)} = (-0,000247 \times \text{fluxo}^2) + (0,255 \times \text{fluxo}) + 14,5$$

Este modelo de eficiência será usado com as condições de vapor do *pós-retrofit* de um ano para determinar qual teria sido a produção de eletricidade com o velho rotor. O aumento da produção de eletricidade será reportado sob as condições do *pós-retrofit*, usando a Equação 1b) do PIMVP.

Os medidores existentes na fábrica são calibrados regularmente como parte integrante da manutenção da fábrica. Foram considerados adequados para o objetivo da empresa de eletricidade.

Resultados Durante um ano após a MRE, as condições de vapor foram aplicadas a cada minuto ao modelo matemático da eficiência do velho rotor para calcular o termo *período de referência ajustado* usado na Equação 1b) do PIMVP. Este valor foi comparado à geração real medida para o mesmo período para determinar o aumento da produção elétrica.

Não ocorreram nenhuma mudança na unidade da TG durante este ano, por isso não foram necessários *ajustes não de rotina*.

A-6 Melhoria da eficiência da caldeira – Opção A

Situação Um promotor de contratos especializado em caldeiras substituiu a caldeira existente de um edifício de escritórios por uma caldeira mais eficiente. O promotor de contratos garantiu uma *economia* anual de petróleo de pelo menos US\$75.000, supondo que as cargas na caldeira são idênticas às que mediu durante o *período de referência*. A ordem de compra do proprietário especificava que as quantias retidas seriam pagas apenas depois de o promotor de contratos ter apresentado um relatório de *economia* que aderisse ao Volume I do PIMVP, EVO 1000 – 1:2007. Foi também especificado que o

proprietário e o promotor de contratos estariam de acordo acerca do *Plano de M&V* como fazendo parte dos planos de concepção final da MRE.

Fatores que afetam a concepção da M&V Estavam a decorrer numerosas mudanças no edifício no momento da substituição da caldeira da fábrica, por isso esperavam-se alterações nas cargas da caldeira da fábrica. O promotor de contratos é apenas responsável pela melhoria da eficiência da caldeira e não pelas alterações na carga da caldeira. A caldeira é o único equipamento no edifício que usa petróleo. O preço do petróleo a ser usado como prova de que se alcançou a garantia do desempenho energético era de US\$1,95/US por galão.

Plano de M&V A Opção A do Volume I do PIMVP, EVO 10000 – 1:2007, foi escolhida para isolar a caldeira das alterações a decorrer no resto do edifício. O *limite de medição* foi estabelecido para incluir apenas a caldeira, medir o consumo de combustível e a energia térmica líquida fornecida ao edifício. Este limite exclui o consumo de eletricidade do queimador e ventilador da caldeira. As alterações a estes *efeitos interativos* elétricos forma considerados negligenciáveis e que não valia a pena a sua inclusão dentro do *limite de medição* ou até numa estimativa separada.

A garantia do promotor de contratos foi declarada relativa à utilização do ano anterior à submissão da sua proposta. Durante esse período, a instalação comprou 241.300 US galões de petróleo Número 2 para a caldeira. Houve um aumento de 2.100 galões no inventário do petróleo entre o início e o fim desse ano. Por conseguinte, o consumo real foi de 239.200 galões. A carga de energia na caldeira será determinada a partir destes dados de consumo de petróleo, uma vez estabelecida a eficiência da velha caldeira. A Equação 1d) do PIMVP será usada com 239.200 galões como *estimativa*. Esta *estimativa* não tem erros, uma vez que a maior parte dela²⁵ provém dos dados de envio do petróleo, que é a fonte de referência sem erro.

A eficiência da caldeira será o parâmetro medido na Equação 1d). Os testes de eficiência foram planejados para um período de condições típicas de Inverno antes de remover a velha caldeira. As condições de Inverno foram escolhidas de modo a que houvesse uma carga suficiente para avaliar a eficiência sob a gama completa das cargas da caldeira. Um medidor de energia térmica recentemente calibrado foi instalado pelo promotor de contratos na alimentação da caldeira e nos tubos de regresso de água e um medidor de petróleo calibrado instalado na alimentação de combustível da caldeira. Tanto o medidor de petróleo como o medidor de energia térmica e o registrador de dados têm *precisões* avaliadas pelo fabricante de $\pm 2\%$ para as gamas implicadas neste projeto.

Os testes de eficiência do *período de referência* foram realizados em três períodos separados de uma semana quando diariamente as temperaturas ambientes *médias* riam dos 20°F aos 40°F. Foram planejados testes idênticos para o primeiro período após a colocação em serviço da nova caldeira quando as temperaturas ambientes variarem de novo entre os 20°F a 40°F, usando os mesmos medidores de petróleo e de energia térmica deixados no local desde os testes de eficiência do *período de referência*. Uma vez que se espera que os três testes individuais de uma semana incluam períodos representantes de uma variação das cargas da caldeira, de baixa a alta, ficou acordado que os resultados dos testes representariam adequadamente a melhoria anual que o proprietário poderia esperar.

As leituras dos medidores de petróleo e de energia térmica serão feitas diariamente pelo pessoal da manutenção do edifício durante os meses de Inverno até que três semanas válidas de teste tenham sido obtidas para a velha caldeira. Será seguido o mesmo processo para a nova caldeira. As leituras serão registradas na sala da caldeira e abertas a inspeção a qualquer altura. O sistema de gestão técnica do edifício mede e registra a temperatura ambiente para as semanas válidas.

²⁵ Os níveis de inventário do petróleo são lidos de um calibrador de reservatório não-calibrado de precisão desconhecida. Uma vez que a magnitude dos ajustes do inventário é pequena relativamente as entregas contadas durante o ano, qualquer erro neste termo de inventário foi considerado negligenciável.

Um extra de US\$9.100 ao contrato, foi aceite pelo proprietário para a alimentação, instalação e colocação em serviço dos medidores de petróleo e de energia térmica e para calcular e reportar a *economia*. Foi tida em consideração a exigência de uma demonstração do desempenho energético durante todo um ano. No entanto, o promotor de contratos salientou que os custos extra de calibração do medidor e análise de dados iria acrescentar \$4.000 aos honorários. O proprietário decidiu que um curto período de teste de 3 semanas representativas seria adequado. O proprietário também decidiu manter e calibrar ele próprio os medidores de petróleo e de energia térmica depois do contrato e fazer anualmente os seus próprios cálculos de eficiência da caldeira.

Resultados Foram recolhidos continuamente dados do *período de referência* do petróleo e da energia durante um período de cinco semanas, até que foram encontradas três onde as temperaturas ambientes médias diárias se mantiveram dentro dos valores especificados entre os 20°F a 40°F. Dividindo a energia térmica líquida fornecida pelo petróleo consumido, as leituras médias de eficiência para a velha caldeira durante os três períodos de uma semana foram de 65,2%.

Após a instalação e colocação em serviço da caldeira, o *pós-retrofit* de três semanas foi de novo encontrado com uma temperatura ambiente média entre os 20°F a 40°F. Os resultados do teste da eficiência da caldeira estabeleceram uma média de 80,6%.

Não houve outras alterações à caldeira da fábrica entre o momento dos testes do *período de referência* e os testes do *pós-retrofit*. Por conseguinte, não foram necessários *ajustes não de rotina*.

Usando a Equação 1d) do PIMVP, a *economia* anual usando 239.200 galões como consumo anual de petróleo estimado do período do é:

$$\begin{aligned} \text{Economia de Petróleo} &= 239.200 \text{ galões} \times (1 - 0,652 / 0,806) \\ &= 45.700 \text{ galões} \end{aligned}$$

O valor da *economia* é \$1,95 x 45.700 = \$89.100.²⁶

Esta *economia* anual estimada a partir de um teste a curto-prazo validou que o promotor de contratos atingiu o desempenho energético garantido.

A-7 Múltiplas MREs com dados de medições de referência – Opção C

Situação Um projeto de eficiência energética foi implementado numa escola secundária no norte dos Estados Unidos. Implicava dez MREs que incluíam a iluminação, o HVAC, o aquecimento da piscina, a formação do operador e as campanhas de consciencialização dos ocupantes. Os objetivos do projeto eram de reduzir os custos de energia.

Fatores que afetam a concepção da M&V O proprietário desejava registrar o custo anual evitado em relação às condições e às taxas de consumo de energia de 2005 como *período de referência*. A escola tinha uma piscina e uma cafeteria. A escola funciona durante todo o ano, embora feche num total de 5 semanas por ano entre os períodos escolares. A comunidade utiliza o edifício quase todos as noites.

As necessidades energéticas do edifício são afetadas significativamente pela temperatura ambiente. Os dados da temperatura podem ser facilmente obtidos a partir de uma estação meteorológica próxima. Nenhuma outra variável significativa de controle da energia pôde ser quantificada.

Apenas os escritórios administrativos têm equipamento mecânico de ar condicionado, que funciona durante 3 meses por ano.

A *economia* anual prevista no medidor do gás é de 2.800 mcf (milhões de pés cúbicos) e 380 000 kWh no medidor principal de eletricidade.

²⁶ A *economia* anual de petróleo e dinheiro é expressa com três dígitos significativos, o número mais baixo de dígitos usados nos cálculos tal como descobertos nos testes de eficiência.

Plano de M&V Um *Plano de M&V* foi desenvolvido mostrando que a Opção C do Volume I do PIMVP, EVO 10000 – 1:2007, devia ser usada para a determinação da *economia* porque o objetivo era o custo energético de toda a instalação. A Opção C também foi escolhida porque estavam envolvidas muitas *MREs*, algumas das quais não podiam ser medidas diretamente.

Uma vez que a *economia* é para ser reportada como “custo evitado”, isto é, sob condições do *pós-retrofit*, a Equação 1b) será utilizada.

Uma lista dos elementos chave no *Plano de M&V* é mostrada mais abaixo. Os pormenores, os dados e a análise são mostrados na página da web dos assinantes da EVO (www.evo-world.org).

- O *Limite de medição* desta determinação da *economia* foi definido como:
 - Uma conta de eletricidade, incluindo demanda, servindo o edifício principal,
 - Uma conta de eletricidade auxiliar, sem demanda, servindo a iluminação do balneário,
 - Uma conta de gás natural para o edifício principal.
- As condições do *período de referência* de 2005 foram registradas, incluindo uma estratégia para o departamento de engenharia capturar facilmente informações acerca de futuras alterações.
- Os dados de energia do *período de referência* e dados meteorológicos foram registrados e analisados por uma regressão linear simples do consumo de energia mensal e Demanda de energia em função de *grau-dia*. Os dados de *grau-dia* foram calculados com a temperatura de base, que produziu o melhor R^2 de um número de análises de regressão realizado numa gama de temperaturas de base plausíveis.
- A análise preliminar descobriu correlações claras com o clima para o consumo de gás no Inverno e consumo de eletricidade no Inverno no medidor principal. A análise também mostrou que não existe uma correlação significativa do clima com a Demanda de eletricidade ou o consumo de gás ou eletricidade no Verão. Decidiu-se que a regressão seria apenas realizada em períodos de faturação com mais de 50 *graus-dia de aquecimento* (GDA). Também se decidiu que durante os *períodos de Relatório* com 50 ou menos GDAs, os valores do *período de referência ajustado* seriam deduzidos diretamente do mês do *período de referência* correspondente, ajustado apenas ao número de dias no período.

As relações *energia/GDA* foram deduzidas para a estação de aquecimento, em todas as três faturas como mostra o Quadro A-7-1, juntamente com estatísticas e coeficientes chave de regressão, onde foram encontradas relações significativas.

Quadro A-7-1
Análise de regressão

	Gás	Eletricidade		
		Edifício principal		Balneário
		Consumo	Demand a	Consumo
Unidades	Mpc	kWh	kW	kWh
Número de meses com mais de 50 GDA	8	8	8	9
Base do GDA	60°F	62°F	62°F	68°F
Estatísticas de regressão:				
R ²	0,93	0,81	0,51	0,29
Erro padrão da estimativa	91	15 933		
Estatística t do coeficiente de GDA	8,7	5,0	2,5	1,7
Avaliação da análise de regressão	Bom	OK	Fraco	Inaceitável
Coefficientes de regressão (onde aceites):				
Interceptados	446,73	102.425		
Coeficiente de GDA	1,9788	179,3916		

As estatísticas de regressão para o consumo de gás e consumo principal de eletricidade mostram uma correlação aceitável com os GDA como indicado pelo R² elevado e as estatísticas t do GDA bem cima do valor crítico do Quadro B-1 do PIMVP de 1,89 para 8 pontos de dados e 90% de confiança. Estas observações são lógicas uma vez que o consumo principal do gás é para o aquecimento do edifício. Também há uma quantidade significativa de calor elétrico no edifício principal.

A fatura do balneário mostrou uma estatística t e um R² fracos. O edifício não tem aquecimento instalado mas tem a iluminação acesa mais tempo durante os meses com menos luz do dia, que são também os meses mais frios. Podia prever-se que o consumo mensal de eletricidade seguisse um padrão anual razoavelmente regular relacionado com as horas de luz diária e a ocupação, não condicionado pela temperatura ambiente. Por conseguinte, a correlação mínima deste medidor com o GDA é ignorada e não lhe serão feitos ajustes climáticos. Em vez disso, o relatório de economia de cada mês tomará o seu *período de referência* do consumo do mês *de referência* correspondente, ajustando-se ao número de dias do *pós-retrofit*.

O medidor principal de Demanda elétrica mostrou uma fraca correlação com a temperatura do dia mais frio. Por conseguinte, o relatório de economia de cada mês tomará a sua Demanda do *período de referência* da Demanda real do mês *de período de referência* correspondente, sem ajuste.

- O impacto a longo prazo nos relatórios de *economia* destas estatísticas de regressão foi analisado. A precisão relativa nos relatórios de *economia* no Inverno será menos de ±10% para o gás e menos de ±20% para a fatura principal de eletricidade. A *economia* prevista será estatisticamente significativa para os meses de Inverno, uma vez que será mais de duas vezes o *erro padrão* das fórmulas do *período de referência* (ver o critério no anexo B-1.2). O conselho executivo sentiu-se confortável com esta *precisão* quantificada prevista, e com possíveis erros não quantificáveis relacionados com o simples ajuste da duração dos períodos de contagem em meses com 50 ou menos GDA.
- O tarifário do comercializador de energia a ser usado para avaliar a *economia* será o preço total atual na ocasião adequado para cada fatura.

Resultados Os dados do *pós-retrofit* para o primeiro ano foram retirados diretamente das faturas do comercializador de energia sem ajuste e relatórios meteorológicos governamentais. Estes dados e cálculos para a *economia* em unidades de energia e Demanda, usando a Equação 1b), são mostrados na página da web da EVO.

O tarifário atual de energia foi aplicado para cada ao *período de referência ajustado* de cada fatura e à *energia* do *pós-retrofit* para calcular a *economia*. Uma vez que a taxa do gás mudou no mês 9 e a taxa de eletricidade mudou no mês 7, dois calendários de preços diferentes foram usados para cada tipo de energia durante o relatório de *economia* de 12 meses. Estes cálculos também se encontram detalhados na página da web da EVO.

A-7.1 Contabilização da energia de toda a instalação em relação ao orçamento

Situação Foi pedido ao gestor do departamento energético de uma cadeia de hotéis a preparação anual de um orçamento energético e explicar periodicamente as variações no orçamento.

Fatores que afetam a concepção da M&V A ocupação da sala de hóspedes do hotel, a utilização das áreas destinadas às convenções e o consumo de energia significativamente afetado pelo clima. Para justificar o consumo de energia, o gestor do departamento energético apercebeu-se de que necessitava de usar técnicas do estilo de *M&V* para ajustar o consumo a estes fatores significativos.

Plano de M&V O gestor do departamento energético seguiu a Opção C do Volume I do PIMVP, EVO 10000 – 1:2007, uma vez que precisava de explicar as variações de orçamento nos relatórios de contas da gestão. Sempre enunciou os seus orçamentos de consumo sob condições climáticas médias a longo prazo e a ocupação do ano anterior.

Resultados Para justificar as variações de orçamento, logo que se completou um ano, o gestor do departamento energético preparou um modelo de regressão da utilização de cada fatura da concessionária, usando fatores climáticos e de ocupação reais para esse ano. Tomou então três medidas para determinar separadamente os efeitos principais do clima, da ocupação e das taxas da concessionária:

- **Clima** Inseriu estatísticas climáticas normais nos modelos do ano mais recente. Usando as taxas reais da concessionária durante esse ano, determinou quanto teria sido o consumo de energia (e o custo) se o clima tivesse sido normal. (Também apontou quanto os *graus-dia* reais de aquecimento e refrigeração variaram em relação ao normal e em relação ao ano anterior, em cada local.)
- **Ocupação** Inseriu os fatores de ocupação do ano anterior nos modelos do ano mais recente. Usando as taxas reais da concessionária para o ano mais recente, determinou quanto teria sido o consumo de energia (e o custo) se a ocupação tivesse sido a mesma do ano anterior. (também anotou quanto a ocupação mudou de ano para ano em cada local.)
- **Taxas da concessionária** Aplicou as taxas das empresas do setor energético do ano anterior ao consumo do ano mais recente (e a Demanda) para determinar que variação do orçamento estava relacionada com as alterações das taxas para cada concessionária em cada local.

Com o impacto destas três variáveis definido, o gestor do departamento energético ainda precisava de justificar as restantes variações. Por isso inseriu os fatores climáticos e de ocupação do ano mais recente nos modelos matemáticos do ano anterior e usando as taxas atuais das empresas do setor energético, reportou o custo evitado a partir do padrão do ano anterior. Este custo evitado foi então analisado em relação às alterações nos *fatores estáticos* registrados para cada local relativamente ao registro do ano anterior. Todas as variações restantes foram reportadas como fenômenos verdadeiramente aleatórios ou desconhecidos.

Este processo de análise não só permitiu ao gestor do departamento energético justificar as variações no orçamento, também o informou sobre onde centrar esforços para gerir as

variações injustificadas. Para além disso, permitiu-lhe fazer mais completos para os anos seguintes.

A-8 Múltiplas MREs num edifício sem medidores de energia durante o período de referência – Opção D

Situação Um projeto de eficiência energética foi implementado no edifício da biblioteca de uma universidade americana, envolvendo sete MREs que vão desde a iluminação, ao HVAC, à formação do operador e às campanhas de consciencialização dos ocupantes. O edifício faz parte de um terreno com vários edifícios, sem medidores individuais para cada edifício. Os objetivos do projeto eram reduzir os custos de energia na biblioteca.

Fatores que afetam a concepção da M&V Uma vez que o projeto na biblioteca era muito pequeno em relação ao conjunto de todos os edifícios da universidade, o seu efeito não podia ser medido usando os medidores da concessionária do conjunto dos edifícios.

A universidade desejava obter uma *economia* o mais rápido possível, apesar da falta de um registro do consumo de energia do *período de referência*.

A *economia* deverá ser reportada continuamente, logo que possível após a MRE, usando os preços atuais, de então, do contrato de energia.

Plano de M&V Decidiu-se não se esperar para obter um ano inteiro de dados de consumo de energia de novos medidores antes de se implementar as medidas. Em vez disso seria usada a Equação f) da Opção D do Volume I do PIMVP, EVO 1000 – 1:2007, simulando o desempenho energético antes da MRE. Por conseguinte, como parte do programa de gestão energética, medidores de vapor, eletricidade e Demanda elétrica foram instalados nas linhas de alimentação principais da biblioteca.

O *limite de medição* deste projeto foi definido como sendo todos os sistemas usuáries de energia na biblioteca. No entanto, o efeito principal no consumo da *energia* verificou-se nos medidores principais da concessionária do conjunto dos edifícios. Para transformar a *energia* medida na biblioteca no seu impacto real nas contas da concessionária do conjunto dos edifícios da universidade, foram feitas as seguintes suposições:

- Uma libra de vapor na biblioteca requer 1,5 pés cúbicos de gás natural no medidor de gás da central de aquecimento do conjunto de edifícios da universidade. Há uma componente fixa no consumo de gás da central de aquecimento, resultante das perdas inevitáveis do sistema de vapor. O fator de 1,5 pés cúbicos, um consumo médio anual de gás por libra do vapor produzido, atribui uma parte baseada na carga desta componente fixa à biblioteca.
- O consumo da eletricidade na biblioteca requer 3% mais de eletricidade no medidor de eletricidade do conjunto dos edifícios da universidade por causa das perdas estimadas de transformação e distribuição do conjunto de edifícios.
- Presume-se que as horas de cheio da Demanda elétrica na biblioteca coincidam com o período das horas de vazio da Demanda no medidor do conjunto dos edifícios da universidade.

A *economia* esperada das MREs foi prevista por uma simulação computadorizada feita com o software DOE 2.1 disponível publicamente. Foi necessária uma sondagem completa aos sistemas e ocupação do edifício para reunir todos os dados de entrada. Os requerimentos de potência de cinco sistemas de ventilação de volume de ar variável foram registrados durante uma semana para definir alguns dos dados de entrada para o planeamento desta simulação. A simulação utilizou as condições climáticas normais e de ocupação a longo prazo e outras características do edifício que existiam na altura da previsão. Foi decidido reportar a *economia* real sob as mesmas condições.

O contrato de fornecimento de gás da universidade tem um preço marginal por unidade de US\$6,25/milhões de pés cúbicos. Também tem um nível de consumo mínimo, que é apenas 5 300 milhões de pés cúbicos abaixo da utilização real de gás durante o *período de referência*. Se o consumo cair mais de 5 300 milhões de pés cúbicos, a universidade pagará

o valor mínimo do contrato. O contrato será renegociado baseado nos resultados determinados a partir deste projeto para a biblioteca. O preço marginal da eletricidade no medidor do conjunto de edifícios da universidade é de \$0,18/kWh nos períodos das horas de cheio, e de \$0,05/kWh nos períodos das horas de vazio, a Demanda é avaliada em \$10,25/kW-mês.

Após o primeiro ano, os dados do medidor para o primeiro ano serão usados como *período de referência* para uma nova abordagem usando a Opção C para este edifício.

Resultados As seguintes etapas foram usadas para calcular a *economia*.

1. Os novos medidores foram calibrados e instalados. O pessoal registrou o consumo de energia e a Demanda mensalmente durante 12 meses, ao longo do primeiro ano após o comissionamento da *MRE*.
2. Depois o *modelo de simulação* original do planejamento foi aperfeiçoado para corresponder com: as *MREs* instaladas, o clima, a ocupação e os perfis de funcionamento do *pós-retrofit*. A simulação resultante das temperaturas e umidades do espaço foram examinadas para garantir que correspondiam razoavelmente a gama típica das condições interiores durante os dias ocupados e desocupados. Inicialmente o resultado da simulação não correspondia muito bem ao consumo de energia real, por isso a equipa de M&V investigou o local mais detalhadamente. Durante estas investigações adicionais a equipa constatou que os períodos nocturnos desocupados sofriam uma alteração muito pequena da temperatura interior. Portanto, alteraram as características de massa térmica do modelo do computador. Depois desta correção, os resultados mensais modelados foram comparados aos dados de calibração mensais. O maior *CV (erro médio quadrático)* das diferenças foi de 12%, no medidor da Demanda elétrica. A universidade achou que devido a estes valores de *CV (erro médio quadrático)* estarem em conformidade com as especificações da ASHRAE (2002), podia ter uma *confiança* razoável nos resultados relativos de duas execuções do modelo. Por conseguinte, este “modelo calibrado à medida que se construía” foi arquivado, com uma cópia impressa e uma eletrônica dos dados de entrada, relatórios de diagnóstico e dados de saída.
3. O modelo calibrado à medida que se construía foi então tornado a executar com um arquivo de dados climáticos correspondentes a um ano normal. As estatísticas de ocupação e os *fatores estáticos* foram também repostos ao que havia sido observado durante o *período de referência*. O “**modelo de condições normais após a MRE**” resultante foi arquivado, com uma cópia impressa e uma eletrônica dos dados de entrada, relatórios de diagnóstico e dados de saída.
4. O modelo de condições normais após a alteração foi então ajustado para retirar as *MREs*. Este “**modelo de condições normais do período de referência**” foi arquivado, com uma cópia impressa e uma eletrônica dos dados de entrada, relatórios de diagnóstico e dados de saída.
5. O consumo de energia dos dois modelos normais foram então comparados usando a Equação 1f) para avaliar a *economia* de energia como mostra o Quadro A-8-1.

A-8-1 Economia simulada da biblioteca sob condições normais

	Modelo de condições normais do período de referência	Modelo de condições normais após a MRE	<i>Economia</i>
Consumo de eletricidade nas horas de cheio (kWh)	1 003 000	656 000	347 000
Consumo de eletricidade nas horas de vazio (kWh)	2 250 000	1 610 000	640 000
Demanda elétrica (kW-meses)	7 241	6 224	1 017
Vapor (milhar de libras)	12 222	5 942	6 280

6. O valor da *economia* no medidor do conjunto de edifícios da universidade foi calculado como mostra o Quadro A-8-2, tendo em conta a transformação e perdas de linha e as quantidades mínimas de gás do contrato.

A-8-2 Economia do conjunto dos edifícios

	<i>Economia da energia da biblioteca</i>	<i>Economia da energia do conj. de edifícios</i>	<i>Economia da energia faturada</i>	Custo da <i>Economia</i> US\$
Consumo de eletricidade nas horas de cheio(kWh)	347 000	357 400	357 400	64 332
Consumo de eletricidade nas horas de vazio (kWh)	640 000	659 200	659 200	32 960
Demanda elétrica (kW-months)	1 017	1 048	1 048	10 742
Vapor ou gás	6 280 000 libras de vapor	9 420 milhões de pés cúbicos de gás	5 300 milhões de pés cúbicos de gás	33 125
Total				\$141 000 ²⁷

A *economia* total é mostrada para o ano antes da revisão do mínimo do contrato de gás.

A-9 Novo edifício concebido melhor do que as normas – Opção D

Situação Um novo edifício foi concebido para consumir menos energia do que a requerida pelas normas de construção local. Para se qualificar para um pagamento de incentivos do governo, foi pedido ao proprietário para mostrar que o consumo de energia do edifício, durante o primeiro ano de funcionamento após o comissionamento e a ocupação total, era 60% inferior ao que teria sido se tivesse sido construído em conformidade com as normas.

Fatores que afetam a concepção de M&V Foi usada extensivamente uma simulação computadorizada durante o processo de concepção do edifício para ajudar a atingir um consumo de energia alvo igual a 50% do das normas.

²⁷ O número final da economia é expresso usando três dígitos significativos porque o menor número de dígitos usado no cálculo é três (656 000 kWh – fase 5).

O edifício foi construído como nova sede corporativa de uma grande firma. Previa-se que o edifício estivesse completamente ocupado imediatamente após a abertura.

O proprietário desejou usar os mesmos cálculos de *economia* de energia que apresentou ao governo para mostrar quanto dinheiro estava a ser poupado como resultado do seu investimento extra num edifício eficiente. Também desejou rever anualmente as variâncias do desempenho energético inicialmente obtido.

Plano de M&V A Opção D do Volume I do PIMVP, EVO 1000 – 1:2007, será utilizada para demonstrar a *economia* do novo edifício comparada com um edifício idêntico construído de acordo com as normas de construção. É possível usar ou a Equação 1f) comparando duas simulações, ou a Equação 1g) comparando o *período de referência* simulado e a *energia* real medida após a sua correção por erro de calibração. O programa de incentivos não especificava que método deveria ser usado. A pessoa que estava a realizar a modelagem achou que a Equação 1f) seria mais precisa. No entanto, o proprietário desejava utilizar dados reais da concessionária na sua declaração final de *economia*, por isso pediu a utilização da Equação 1g).²⁸

Após o primeiro ano de funcionamento completo (“ano um”), a energia e os dados de funcionamento do ano um irão tornar-se o *período de referência* abordagem da Opção C do Volume I do PIMVP, EVO 1000 – 1:2007, para reportar o desempenho energético em curso.

Resultados Um ano após o comissionamento e a ocupação completa, os dados de entrada da concepção da simulação original foi atualizada de modo a refletir o equipamento tal como está construído e a ocupação atual. Foi escolhido um arquivo de dados climáticos de arquivos meteorológicos disponíveis para o local do edifício baseado na semelhança do arquivo de *graus-dia* de aquecimento e refrigeração totais com os *graus-dia* medidos do ano um. Este arquivo semelhante foi adequadamente ajustado aos *graus-dia* de aquecimento e resfriamento mensais reais do ano um. Os dados de entrada revistos foram usados para voltar a executar a simulação.

Os dados de consumo da concessionária do ano um foram comparados com este *modelo de simulação*. Depois de mais algumas revisões aos dados de entrada da simulação, foi considerado que a simulação modelava razoavelmente o edifício atual. Esta simulação calibrada foi denominada de “modelo tal como está construído.”

O erro de calibração no modelo tal como está construído relativamente aos dados reais do comercializador de energia que são mostrados no Quadro A-9-1.

²⁸ Este método é o mesmo que o Método 2, da Opção D, do Volume III do PIMVP(2003)

	Gás	Consumo de eletricidade (kWh)		Demanda elétrica (kW)
		Fora do Vazio	Vazio	
Janeiro	+1%	- 2%	+1%	+6%
Fevereiro	- 3%	+1%	0%	- 2%
Março	0%	- 2%	- 1%	- 5%
Abril	+2%	+3%	+1%	- 3%
Mai	- 2%	+5%	+2%	+6%
Junho	+7%	- 6%	- 2%	- 9%
Julho	- 6%	+2%	0%	+8%
Agosto	+1%	- 8%	- 1%	+5%
Setembro	- 3%	+7%	+1%	- 6%
Outubro	- 1%	- 2%	- 1%	+5%
Novembro	+3%	- 2%	- 1%	- 9%
Dezembro	+1%	+4%	+1%	+4%

Table A-9-1 Erros de calibração mensais

Os dados de entrada para o modelo tal como está construído foram então mudados para descrever um edifício com a mesma ocupação e localização mas que está simplesmente em conformidade com a norma de construção. Este foi denominado de “modelo normalizado”

O consumo de energia previsto mensalmente do modelo normalizado foi ajustado pelos erros de calibração mensais do Quadro A-9-1 para avaliar o “**modelo normalizado corrigido.**” Os dados medidos atuais para o ano um foram então subtraídos do modelo normalizado corrigido para avaliar a *economia* mensal. A percentagem de *economia* foi calculada para provar a elegibilidade para o incentivo do governo.

A *economia* monetária foi determinada para o proprietário, aplicando a então atual estrutura de taxas totais da concessionária aos valores mensais previstos do modelo normalizado corrigido. Este valor total foi comparado com os pagamentos totais à concessionária para o ano um.

Os dados de energia do ano um tornaram-se a base para uma abordagem usada a Opção C para os anos seguintes.

B-1 Introdução

O objetivo da *M&V* é determinar com confiança a *economia de energia*. Para que os relatórios de *economia* sejam de confiança, precisam de ter um nível razoável de incerteza. A incerteza de um relatório de *economia* pode ser gerida, controlando erros aleatórios e a parcialidade dos dados. Os erros aleatórios são afetados pela qualidade do equipamento de medição, as técnicas de medição e a concepção do procedimento de amostragem. A parcialidade dos dados é afetada pela qualidade dos dados de medição, suposições e análises. A redução dos erros aumenta habitualmente o custo da *M&V*, por isso a necessidade de uma incerteza melhorada deve ser justificada pelo valor da informação melhorada (ver seção 8.5).

Os cálculos da *economia de energia* implicam uma comparação de dados medidos de *energia* e um cálculo de “ajustes” para converter *ambas as medições* ao mesmo conjunto de condições de funcionamento (ver seção 4.1, Equação 1). Tanto as medições como os ajustes introduzem erro. Os erros podem surgir, por exemplo, devido a inexatidão do medidor, procedimentos de amostragem ou procedimentos de ajuste. Estes processos produzem “estimativas” estatísticas com valores reportados ou previstos e algum nível de variação. Por outras palavras, os verdadeiros valores não são conhecidos, apenas estimativas com algum nível de incerteza. Todas as medições físicas e análise estatística baseiam-se em estimativas de tendências centrais, tal como valores *médios* e quantificação de variações tais como largura de faixa, *desvio padrão*, *erro padrão* e *variância*.

As estatísticas são a base dos métodos matemáticos que podem ser aplicados aos dados para ajudar a tomar decisões face à incerteza. Por exemplo, as estatísticas fornecem formas de verificar resultados para ver se a *economia* reportada é “significativa,” isto é, é provável ser um efeito real da MRE em vez de um comportamento aleatório.

Os erros ocorrem em três formas: modelagem, amostragem e medição:

- Modelagem. Os erros na modelagem matemática são devidos a uma forma funcional inadequada, inclusão de variáveis irrelevantes, exclusão de variantes relevantes, etc. Ver Anexo B-2.
- Amostragem. O erro de amostragem surge quando apenas uma porção da população de valores reais é medida ou é usada uma abordagem de amostragem com erro sistemático. A representação de apenas uma porção da população pode ocorrer tanto no sentido físico (isto é, apenas 20 dos 1 000 aparelhos de iluminação são contados), como no sentido temporal (a contagem ocorre durante apenas dez minutos de cada hora). Ver Anexo B-3.
- Medição. Os erros de medição resultam da precisão dos sensores, erros de seguimento de dados, desvios desde a calibração, medições imprecisas, etc. A magnitude de tais erros é dada em grande parte pelas especificações do fabricante e gerida pela calibração periódica. Ver Anexo B-4 e seções 4.8.3 e 8.11.

Este anexo fornece orientações acerca da quantificação das incertezas criadas por estas três formas de erro. O anexo B-5 discute os métodos para combinar elementos quantificados de incerteza.

Algumas fontes de erro são desconhecidas e inquantificáveis. Exemplos de tais fontes seria uma má Seleção ou colocação do medidor, *estimativas* imprecisas na Opção A ou a má estimativa dos *efeitos interativos* nas Opções A ou B. As incertezas desconhecidas ou inquantificáveis apenas podem ser geridas, seguindo as melhores práticas da indústria.

Um exemplo da utilização da análise da incerteza é dado no Anexo B-6. Também alguns dos exemplos no Anexo A apresentam cálculos de incerteza: A-3, A-3-2, A-4 e A-7. A

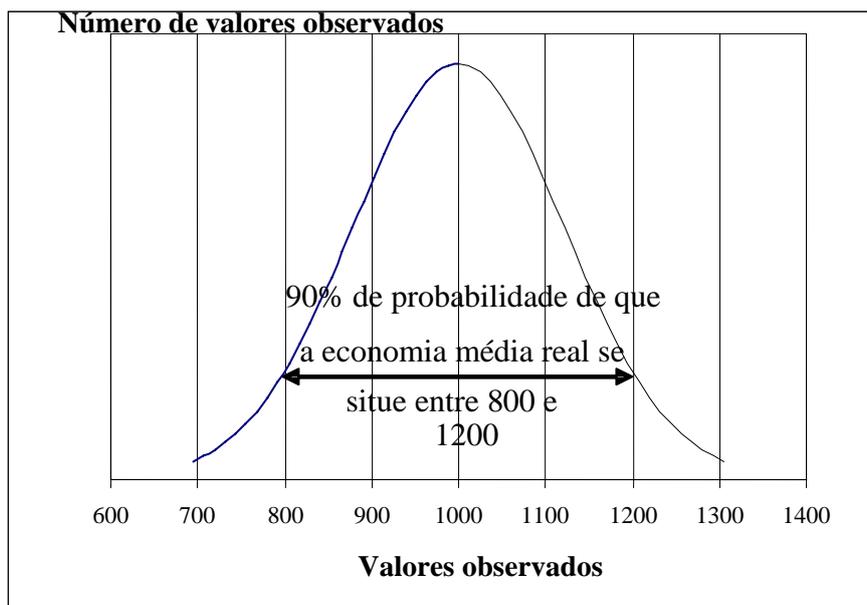
página da web dos assinantes da EVO (www.evo-world.org) contém pormenores dos cálculos de incerteza dos pontos A-4 e A-7.

B-1.1 Expressar a incerteza

Para poder comunicar uma *economia* de uma forma estatisticamente válida, a *economia* deve ser expressa juntamente com os seus intervalos de *confiança* e *precisão*. A *confiança* refere-se à possibilidade ou probabilidade que a *economia* estimada faça parte da margem de *precisão*.²⁹ Por exemplo, o processo de estimativa da *economia* pode levar a uma declaração tal como: “a melhor estimativa da *economia* é 1 000 kWh anualmente (ponto estimado) com uma probabilidade de 90% (*confiança*) de que o valor médio verdadeiro da *economia* faça parte de $\pm 20\%$ de 1000.” Uma representação gráfica desta relação é mostrada na Figura B-1.

Figura B-1

Distribuição normal
da população



Uma declaração de *precisão* estatística (a parte de $\pm 20\%$) sem um intervalo de *confiança* (a parte de 90%) não tem sentido. O processo de *M&V* pode revelar uma *precisão* extremamente elevada com uma baixa *confiança*. Por exemplo, a *economia* pode ser apresentada com uma *precisão* de $\pm 1\%$, mas o intervalo de *confiança* associado pode cair de 95% a 35%.

B-1.2 Incerteza aceitável

A *economia* é considerada estatisticamente válida se for grande relativamente às variações estatísticas. Especificamente, a *economia* precisa de ser maior do que duas vezes o *erro padrão* (ver definição no anexo B-1.3) do valor do *período de referência*. Se a *variância* dos dados do *período de referência* for excessiva, o comportamento aleatório inexplicado no consumo de *energia* das *instalações* ou do sistema é elevado e qualquer simples determinação da *economia* não é de *confiança*.

Quando não se consegue estar em conformidade com este critério, deve-se considerar utilizar:

- equipamento de medição mais preciso,
- mais *variáveis independentes* em qualquer modelo matemático,
- tamanhos maiores de amostras, ou
- uma Opção do PIMVP que seja menos afetada por *variáveis desconhecidas*.

²⁹ Os termos de estatística em itálico neste anexo são definidos no anexo B-1.3

B-1.3 Definições de termos estatísticos

Média (\bar{Y}): A medida usada mais frequentemente da tendência central de uma série de observações. A *média* é determinada, adicionando os pontos de dados individuais (Y_i) e dividindo pelo número total destes pontos de dados (n), da seguinte forma:

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n}$$

B-1

Variância (S^2): A variância mede o ponto no qual os valores observados diferem uns dos outros, isto é, a variabilidade ou a dispersão. Quanto maior a variabilidade, maior a incerteza na *média*. A *variância*, a medida de variabilidade mais importante, é encontrada fazendo a média do quadrado dos desvios individuais em relação à *média*. A razão porque estes desvios em relação à *média* são colocados ao quadrado é simplesmente para eliminar os valores negativos (quando um valor está baixo da *média*) para que não cancelem os valores positivos (quando um valor está acima da *média*). A *variância* é calculada da seguinte forma:

$$S^2 = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n - 1}$$

B-2

Desvio padrão (s): Isto é simplesmente a raiz quadrada da *variância*. Isto traz de volta a medida de variabilidade à unidades dos dados (por exemplo, enquanto as unidades de *variância* estão em kWh², as unidades de *desvio padrão* estão em kWh).

$$s = \sqrt{S^2}$$

B-3

Erro padrão (EP): Isto é o *desvio padrão* dividido por \sqrt{n} . Esta medida é usada para estimar a *precisão*.

$$EP = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

B-4

Precisão: A *precisão* é a medida da extensão *absoluta* ou *relativa* dentro da qual se espera que o valor verdadeiro ocorra com algum intervalo de *confiança* específico. O intervalo de *confiança* refere-se à probabilidade de que a extensão citada contenha o parâmetro estimado.

Precisão absoluta é calculada a partir do *erro padrão* usando um valor “ t ” do Quadro B-1 da “distribuição t ”:

$$t \times EP$$

B-5

Quadro B - 1
quadro t

Número de leituras (Tamanho da amostra)	Intervalo de confiança				Número de leituras (Tamanho amostra)	Intervalo de confiança			
	95%	90%	80%	50%		95%	90%	80%	50%
2	12,71	6,31	3,08	1,00	17	2,12	1,75	1,34	0,69
3	4,30	2,92	1,89	0,82	18	2,11	1,74	1,33	0,69
4	3,18	2,35	1,64	0,76	19	2,10	1,73	1,33	0,69
5	2,78	2,13	1,53	0,74	20	2,09	1,73	1,33	0,69
6	2,57	2,02	1,48	0,73	21	2,09	1,72	1,33	0,69
7	2,45	1,94	1,44	0,72	22	2,08	1,72	1,32	0,69
8	2,36	1,89	1,41	0,71	23	2,07	1,72	1,32	0,69
9	2,31	1,86	1,40	0,71	24	2,07	1,71	1,32	0,69
10	2,26	1,83	1,38	0,70	25	2,06	1,71	1,32	0,68
11	2,23	1,81	1,37	0,70	26	2,06	1,71	1,32	0,68
12	2,20	1,80	1,36	0,70	27	2,06	1,71	1,31	0,68
13	2,18	1,78	1,36	0,70	28	2,05	1,70	1,31	0,68
14	2,16	1,77	1,35	0,69	29	2,05	1,70	1,31	0,68
15	2,14	1,76	1,35	0,69	30	2,05	1,70	1,31	0,68
16	2,13	1,75	1,34	0,69	∞	1,96	1,64	1,28	0,67

Em geral espera-se que o verdadeiro valor de qualquer estimativa estatística, com um dado intervalo de *confiança*, se situe na extensão definida por

$$\text{Extensão} = \text{estimativa} \pm \text{precisão absoluta}$$

B-6

Onde a “estimativa” é um valor derivado empiricamente de um parâmetro de interesse (por exemplo, consumo total, número médio de unidades produzidas).

Precisão relativa é a *precisão absoluta* dividida pela estimativa:

$$\frac{t * EP}{Estimativa}$$

B-7

Exemplo de utilização da *precisão relativa* no anexo A-3. Como exemplo de utilização destes termos, considerem-se os dados no Quadro B-2 de 12 leituras mensais de um medidor e a análise relativa da diferença entre cada leitura e a *média* das leituras (1 000):

	Leitura	Diferenças calculadas a partir da média	
	Real	Brutas	Ao quadrado
1	950	-50	2 500
2	1 090	90	8 100
3	850	-150	22 500
4	920	-80	6 400
5	1 120	120	14 400
6	820	-180	32 400
7	760	-240	57 600
8	1 210	210	44 100
9	1 040	40	1 600
10	930	-70	4 900
11	1 110	110	12 100
12	1 200	200	40 000
Total	12 000		246 600

Quadro B-2 Exemplos de dados e de análise

O valor *Médio* é: $\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{n} = \frac{12,000}{12} = 1,000$

A *Variância* (S^2) é: $S^2 = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1} = \frac{246,600}{12-1} = 22,418$

O *Desvio padrão* (s) é: $s = \sqrt{S^2} = \sqrt{22,418} = 150$

O *Erro padrão* é: $EP = \frac{s}{\sqrt{n}} = \frac{150}{\sqrt{12}} = 43$

O Quadro B-1 mostra que “t” é 1,80 para 12 pontos de dados e um intervalo de confiança de 90%. Portanto:

a *Precisão absoluta* é: $t \times EP = 1.80 \times 43 = 77$ e

a *Precisão relativa* é: $\frac{t \times EP}{estimativa} = \frac{77}{1,000} = 7.7\%$

Portanto, há 90% de *confiança* de que o verdadeiro consumo mensal *médio* se situe na extensão entre 923 e 1 077 kWh. Pode-se dizer com 90% de *confiança* que o valor *médio* das 12 observações é de 1 000 \pm 7.7%. De forma idêntica poder-se-ia dizer que:

- com 95% de *confiança* que o valor *médio* das 12 observações é de 1 000 \pm 9,5%, ou
- com 80% de *confiança* que o valor *médio* das 12 observações é de 1 000 \pm 5,8%, ou
- com 50% de *confiança* que o valor *médio* das 12 observações é de 1 000 \pm 3,0%.

B-2 Modelagem

A modelagem matemática é utilizada na *M&V* para preparar o termo dos *ajustamentos de rotina* nas várias versões da Equação 1 no Capítulo 4. A modelagem implica encontrar uma relação matemática entre *variáveis dependentes* e *independentes*. A *variável dependente*, habitualmente a *energia*, é modelada como sendo regida por uma ou mais *variáveis independentes* X_i , (também conhecidas como *variáveis 'explicativas'*). Este tipo de modelagem é denominado *análise de regressão*.

Na *análise de regressão*, o modelo tenta “explicar” a variação da *energia* resultante das variações nas *variáveis independentes* individuais (X_i). Por exemplo, se um dos X s é o nível de produção, o modelo iria avaliar se a variação da *energia* da sua *média* é causada por alterações no nível de produção. O modelo quantifica a causalidade. Por exemplo, quando a produção aumenta por uma unidade, o consumo de energia aumenta por unidades “ b ”, onde “ b ” é denominado *coeficiente de regressão*.

Os modelos mais comuns são regressões lineares da forma:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_pX_p + e$$

onde:

- Y é a *variável dependente*, habitualmente sob a forma de uso de *energia* durante um período de tempo específico (por exemplo, 30 dias, 1 semana, 1 dia, 1 hora, etc.)
- X_{it} ($i = 1, 2, 3, \dots, p$) representa as ‘ p ’, *variáveis independentes* tais como o clima, a produção, a ocupação, a duração do período de contagem, etc.
- b_i ($i = 0, 1, 2, \dots, p$) representa os coeficientes derivados para cada *variável independente*, e um coeficiente fixo (b_0) que não está relacionado com as *variáveis independentes*
- e representa os erros residuais que permanecem inexplicados após a justificação do impacto das várias *variáveis independentes*. A *análise de regressão* encontra o conjunto dos valores b_i que fazem a soma dos termos de erro residual ao quadrado o mais próximo possível de zero (assim os modelos de regressão são também denominados *modelos dos mínimos quadrados*³⁰)

Um exemplo de um modelo descrito acima para o consumo de *energia* de um edifício é:

$$\text{consumo de energia mensal} = 342\,000 + (63 \times GDA) + (103 \times GDR) + (222 \times \text{Ocupação})$$

GDA e GDR são *grau-dias* de aquecimento e refrigeração, respectivamente. A ocupação é uma medida da percentagem de ocupação no edifício. Neste modelo 342 000 é uma estimativa da carga de base em kWh, 63 mede a alteração no consumo para um GDA adicional, 103 mede a alteração no consumo para um GDR e 222 mede a alteração no consumo por 1% de variação na ocupação.

O anexo B-6 apresenta um exemplo de um relatório de uma *análise de regressão* para uma única *variável independente*, de um software comum com planilha de cálculo.

B-2.1 Erros de modelagem

Quando se utiliza modelos de regressão, como o acima descrito, vários tipos de erro podem ser introduzidos como os enumerados mais abaixo.

³⁰ ASHRAE (2002) sugere que a análise de regressão deve de ser capaz de produzir valores de e que são menores do que 0,005%.

1. O modelo está construído sobre valores que se encontram fora da largura de faixa provável das variáveis a ser utilizadas. Um modelo matemático apenas deve ser construído utilizando valores razoáveis das *variáveis dependentes e independentes*
2. O modelo matemático pode não incluir *variáveis independentes* relevantes, introduzindo a possibilidade de relações tendenciosas (variável tendenciosa omitida).
3. O modelo pode incluir algumas variáveis que são irrelevantes.
4. O modelo pode utilizar uma forma funcional inadequada.
5. O modelo pode-se basear em dados insuficientes ou pouco representativos.

Cada um destes tipos de erros de modelagem são discutidos mais abaixo.

B-2.1.1 Utilização de dados fora da faixa

Se o modelo for construído sobre dados que não são representativos do comportamento *energético* normal das instalações, então não se pode confiar nas previsões. Isto pode conter a inclusão de valores discordantes ou valores que estão muito fora da faixa do razoável. Os dados devem ser examinados antes de serem utilizados na construção do modelo.

B-2.1.2 Omissão de variáveis relevantes

Na *M&V*, a *análise de regressão* é usada para explicar as alterações no uso de *energia*. A maioria dos sistemas usuáries de *energia* complexos é afetada por inúmeras *variáveis independentes*. Os modelos de regressão não podem esperar incluir todas as *variáveis independentes*. Mesmo se isso fosse possível, o modelo seria demasiado complexo para ser útil e iria requerer atividades excessivas na obtenção de dados. A abordagem prática é incluir apenas *variáveis independentes*, que se considera ter um impacto significativo na *energia*.

A omissão de uma *variável independente* relevante pode ser um erro importante. O modelo de exemplo no anexo B-2 tenta explicar as variações no consumo mensal de energia, usando várias variáveis *X*. Se uma *variável independente* relevante estiver a faltar (por exemplo, GDA), então o modelo não poderá explicar uma porção significativa da variação da *energia*. O modelo deficiente também irá atribuir alguma da variação, que é devida à variável em falta, à variável ou variáveis que estão incluídas no modelo. Como tal o modelo não irá fornecer estimativas precisas do impacto da variáveis *X* incluídas em *Y*.

Não existem indicações óbvias deste problema nos testes estatísticos padrão (exceto talvez um baixo R^2 , ver B-2.2.1 mais abaixo). A experiência e o conhecimento da engenharia do sistema cujo desempenho energético está a ser medido, são aqui muito valiosos.

Pode haver casos onde se sabe que existe uma relação com uma variável registrada durante o *período de referência*. No entanto, a variável não se encontra incluída no modelo devido à falta de orçamento para continuar a reunir os dados no *pós-retrofit*. Tal omissão de uma variável relevante deve ser anotada e justificada no *Plano de M&V*.

B-2.1.3 Inclusão de variáveis irrelevantes

Às vezes os modelos incluem *variáveis independentes* irrelevantes. Se a variável irrelevante não tem relação (correlação) com as variantes relevantes incluídas, então terá um impacto mínimo no modelo. No entanto, se a variável irrelevante estiver correlacionada com outras variáveis relevantes no modelo, pode levar a que o impacto das variáveis relevantes seja tendencioso.

Deve-se ter cuidado quando se acrescentar mais *variáveis independentes* numa *análise de regressão* apenas porque elas estão disponíveis. Avaliar a relevância das variáveis independentes requer experiência e intuição. No entanto, a *distribuição - t* associada (ver B-2.2.3 mais abaixo) é uma forma de confirmar a relevância de *variáveis independentes* particulares incluídas num modelo. Experiência na análise de *energia* para o tipo de

instalações envolvidas em qualquer programa de M&V é necessária para determinar a relevância das *variáveis independentes*.

B-2.1.4 Forma funcional

É possível modelar uma relação usando a forma funcional incorreta. Por exemplo, uma relação linear pode ser utilizada incorretamente na modelagem de uma relação física fundamental que é não linear. Por exemplo, o consumo da eletricidade e a temperatura ambiente tendem a ter uma relação (muitas vezes em forma de 'U') não linear com a temperatura exterior durante o período de um ano em edifícios que são aquecidos e refrigerados eletricamente (A utilização da eletricidade é alta para as temperaturas ambientes tanto baixas como altas, enquanto relativamente baixa na meia estação). Modelar esta relação não linear com um único modelo linear iria introduzir um erro desnecessário. Em vez disso, modelos lineares separados devem ser derivados para cada estação.

Também pode ser adequado tentar relações de uma ordem mais alta, por exemplo, $Y = f(X, X^2, X^3)$.

O modelador necessita de avaliar diferentes formas funcionais e selecionar a mais adequada de entre elas, usando as medidas de avaliação apresentadas no anexo B-2.2, mais abaixo.

B-2.1.5 Escassez de dados

Os erros também podem ocorrer por causa de dados insuficientes quer em termos de quantidade (isto é, muito poucos pontos de dados) quer de tempo (por exemplo, usar meses de Verão no modelo e tentar extrapolá-los para os meses de Inverno). Os dados usados na modelagem devem ser representativos da gama de operações das instalações. O período de tempo coberto pelo modelo precisa de incluir as várias estações possíveis, os tipos de utilização, etc. Isto pode exigir o prolongamento dos períodos de tempo utilizados ou o aumento do tamanho das amostras.

B-2.2 Avaliação dos modelos de regressão

Para avaliar até que ponto um modelo particular de regressão explica a relação entre o consumo de *energia* e as *variáveis independentes*, podem ser realizados três testes, como os descritos mais abaixo. O anexo B-6 fornece a avaliação de um exemplo de um modelo de regressão.

B-2.2.1 Coeficiente de determinação (R^2)

O primeiro passo para avaliar a exatidão de um modelo, é examinar o coeficiente de determinação, R^2 , uma medida da extensão à qual as variações na variável dependente Y do seu valor *médio* são explicadas pelo modelo de regressão. Matematicamente, R^2 é:

$$R^2 = \frac{\text{variação calculada de } Y}{\text{variação total de } Y}$$

ou mais explicitamente:

$$R^2 = \frac{\sum (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{\sum (Y_i - \bar{Y})^2}$$

onde:

- \hat{Y}_i = valor da energia calculada pelo modelo para um dado ponto, usando o valor medido da *variável independente* (isto é, obtido inserindo os valores de X no modelo de regressão)
- \bar{Y} = *média* dos valores n de *energia* medida, encontrados usando a equação B-1
- Y_i = Valor de *energia* realmente observado (por exemplo, usando um medidor)

Todos os programas estatísticos e ferramentas de folhas de cálculo de *análise de regressão* calculam o valor de R^2 .

A extensão dos valores possíveis para R^2 é de 0,0 a 1,0. Um R^2 de 0,0 significa que nenhuma variação é explicada pelo modelo, portanto o modelo não fornece nenhuma orientação para a compreensão das variações em Y (isto é, as *variáveis independentes* selecionadas não dão nenhuma explicação das causas das variações observadas em Y). Por outro lado, um R^2 de 1,0 significa que o modelo explica 100% das variações em Y , (isto é, o modelo prevê Y com uma certeza total, para qualquer conjunto de valores dados das *variáveis independentes*). Nenhum destes valores limites de R^2 é provável com dados reais.

Geralmente, quanto maior o coeficiente de determinação, melhor o modelo descreve a relação das *variáveis independentes* e a variável dependente. Embora não haja nenhuma norma universal para um valor mínimo R^2 aceitável, 0,75 é frequentemente considerado um indicador razoável de uma boa relação causal entre a *energia* e as *variáveis independentes*.

O teste R^2 deve apenas ser usado como uma verificação inicial. Os modelos não devem ser rejeitados ou aceites somente na base de R^2 . Finalmente, um R^2 baixo é uma indicação de que algumas variáveis relevantes não estão incluídas ou que a forma funcional do modelo (por exemplo, linear) não é adequada. Nesta situação seria lógico considerar *variáveis independentes* adicionais ou uma forma funcional diferente.

B-2.2.2 Erro padrão da estimativa

Quando um modelo é usado para prever um valor de *energia* (Y) para as *variáveis independentes* dadas, a exatidão da previsão é medida pelo *erro padrão da estimativa* ($SE_{\hat{Y}}$). Esta medida de exatidão é fornecida por todos os programas de regressão padrão e folhas de cálculo.

Uma vez inseridos os valores das *variáveis independentes* no modelo de regressão para estimar um valor de *energia* (\hat{Y}), uma aproximação da faixa de valores possíveis para \hat{Y} podem ser calculados usando a equação B-6 como se mostra:

$$\hat{Y} \pm t \times EP_{\hat{Y}}$$

onde:

- \hat{Y} é o valor previsto de *energia* (Y) do modelo de regressão
- t é o valor obtido a partir da distribuição t (ver Quadro B-1 acima)
- $EP_{\hat{Y}}$ é o *erro padrão da estimativa* (previsão). É calculado como se mostra:

$$EP_{\hat{Y}} = \sqrt{\frac{\sum (\hat{Y}_i - Y_i)^2}{n - p - 1}}$$

B-8

onde p é o número de *variáveis independentes* na equação de regressão.

Esta estatística é muitas vezes referida como erro médio quadrático (*EMQ*).

Dividindo o *EMQ* pelo uso de *energia* médio, obtém-se o coeficiente de variação do *EMQ* ou o *CV(EMQ)*.

$$CV(EMQ) = \frac{EP_{\hat{Y}}}{\bar{Y}} \quad \text{B-9}$$

Uma medida semelhante é o erro médio sistemático(*EMS*) definido como se mostra:

$$EMS = \frac{\sum (\hat{Y}_i - Y_i)}{n} \quad \text{B-10}$$

O *EMS* é um bom indicador da tendência global na estimativa de regressão. Um *EMS* positivo indica que as estimativas da regressão tendem a exagerar os valores reais. A tendência positiva global pode cancelar a tendência negativa. O *EMQ* não sofre deste problema de cancelamento.

Todas as três medidas podem ser utilizadas na avaliação da calibração dos modelos de simulação na Opção D.

B-2.2.3 Distribuição-t

Uma vez que os coeficientes do modelo de regressão (b_k) são estimativas estatísticas da verdadeira relação entre uma variável individual de X e um Y , estão sujeitas à variação. A exatidão da estimativa é medida pelo *erro padrão do coeficiente* e o valor associado da *distribuição-t*. Uma *distribuição-t* é um teste estatístico para determinar se uma estimativa tem uma importância estatística. Uma vez estimado um valor usando o teste, pode ser comparado a *valores-t críticos* de um *quadro-t* (Quadro B-1 acima).

O *erro padrão de cada coeficiente* é calculado por um software de regressão. A seguinte equação aplica-se para o caso de uma variável independente.

$$EP_b = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - \hat{Y})^2 / (n - 2)}{\sum (X_i - \bar{X})^2}}$$

Para casos com mais do que uma *variável independente*, a equação fornece uma aproximação razoável quando as variáveis independentes são verdadeiramente independentes (isto é, não correlacionadas). Caso contrário, a equação torna-se muito complexa e o analista da *M&V* está mais bem servido se usar um pacote de programas para calcular os *erros padrão* dos coeficientes.

A faixa dentro da qual o verdadeiro valor do coeficiente, b , se encontra é calculada usando a equação B-6 como se mostra:

$$b \pm t \times EP_b$$

O *erro padrão do coeficiente*, b , também leva ao cálculo da *distribuição-t*. Este teste determina definitivamente se o coeficiente calculado é estatisticamente significativo ou simplesmente um cálculo aleatório. A *distribuição-t* é calculada por todo o software estatístico usando a seguinte equação:

$$\text{distribuição-t} = \frac{b}{EP_b}$$

Uma vez calculada a *distribuição-t*, esta pode ser comparada com valores críticos t do Quadro B-1. Se o valor absoluto da *distribuição-t* ultrapassar o número apropriado do Quadro B-1, então deve-se concluir que a estimativa é estatisticamente válida.

Um método empírico declara que o valor absoluto de um resultado de *distribuição-t* de 2 ou mais implica que o coeficiente estimado seja significativo em relação ao seu *erro padrão*, e por conseguinte, que existe uma relação entre Y e o X particular relacionado com o coeficiente. Pode-se então concluir que o b estimado não é zero. No entanto, numa *distribuição-t* de cerca de 2, a *precisão* no valor do coeficiente é de cerca de $\pm 100\%$: não é um grande voto de confiança no valor de b . Para obter uma melhor precisão de digamos $\pm 10\%$, os valores da *distribuição-t* deve ser por volta de 10 ou o *erro padrão* de b não pode ser mais de 0,1 do próprio b .

Para melhorar o resultado da *distribuição-t*:

- Selecionar *variáveis independentes* com a relação mais forte à *energia*;
- Selecionar *variáveis independentes* cujos valores se coloquem dentro da faixa mais extensa possível (se X não varia nada no modelo de regressão, b não pode ser estimado e a *distribuição-t* será fraca);
- Obter e usar mais dados para desenvolver o modelo; ou
- Selecionar uma forma funcional diferente para o modelo; por exemplo, um que determine separadamente os coeficientes para cada estação num edifício que seja afetado significativamente pelas alterações sazonais do clima.

B-3 Amostragem

A amostragem cria erros porque nem todas as unidades em estudo são medidas. A situação de amostragem mais simples é a de selecionar aleatoriamente n unidades de uma população total de N unidades. Numa amostra aleatória, cada unidade tem a mesma probabilidade $\left(\frac{n}{N}\right)$ de ser incluída na amostra.

Geralmente, o *erro padrão* é proporcionalmente inverso a \sqrt{n} . Quer dizer, aumentar o tamanho da amostra por um fator " f " reduzirá o *erro padrão* (melhorar a precisão da estimativa) por um fator de \sqrt{f} .

B-3.1 Determinação do tamanho da amostra

Pode-se minimizar o erro de amostragem, aumentando a fração da população que é retirada como amostra $\left(\frac{n}{N}\right)$, aumentar o tamanho da amostra implica obviamente o aumento do custo. Várias questões são críticas na otimização dos tamanhos da amostra. Os seguintes passos devem ser seguidos para estabelecer o tamanho da amostra.

1. **Selecionar uma população homogénea.** Para que a amostragem seja rentável, deve-se prever que as unidades medidas sejam iguais às de toda a população. Se houver dois tipos diferentes de unidades na população, devem de ser agrupadas e a amostra deve ser retirada separadamente. Por exemplo, ao conceber um programa de amostragem para medir os períodos de funcionamento da iluminação de uma divisão controlada por sensores de presença, a amostra das divisões ocupadas mais ou menos

continuamente (por exemplo, escritórios com várias pessoas) deve ser retirada separadamente das divisões que são apenas ocupadas ocasionalmente (por exemplo, salas de reunião).

2. **Determinar os níveis desejados de *precisão* e de *confiança*** para a estimativa (por exemplo, horas de utilização) a ser reportada. A *precisão* refere-se ao limite do erro à volta da verdadeira estimativa (isto é, extensão de $\pm x\%$ à volta da estimativa). Uma *precisão* mais elevada requer uma amostra maior. A *confiança* refere-se à probabilidade de que a estimativa se encontre dentro dos limites da extensão da *precisão* (isto é, a probabilidade de que a estimativa se encontre efetivamente dentro dos limites da extensão de $\pm x\%$ definida pela declaração de *precisão*). Uma probabilidade mais elevada também requer amostras maiores. Por exemplo, se se quiser uma *confiança* de 90% e uma *precisão* de $\pm 10\%$, isso vai significar que a faixa definida para a estimativa ($\pm 10\%$) irá conter o verdadeiro valor para o grupo inteiro (que não é observado) com uma probabilidade de 90%. Como exemplo, ao estimar as horas de iluminação numa *instalação*, decidiu-se utilizar a mostragem porque era demasiado dispendioso medir as horas de funcionamento de todos os circuitos de iluminação. Fazer a contagem de uma amostra dos circuitos forneceu uma estimativa das verdadeiras horas de funcionamento. Para ir de encontro a um critério de incerteza de 90/10 (*confiança* e *precisão*) o tamanho da amostra é determinado de modo a que uma vez estimadas as horas de funcionamento por amostragem, a extensão da estimativa da amostra ($\pm 10\%$) tem de ter uma probabilidade de 90% de conter as verdadeiras horas de utilização.

A abordagem convencional é conceber a amostragem para obter um intervalo de *confiança* de 90% e uma *precisão* de $\pm 10\%$. No entanto, o *Plano de M&V* precisa de ter em consideração os limites criados pelo orçamento (ver seção 8.5). Melhorar a *precisão* de digamos $\pm 20\%$ para $\pm 10\%$ aumentará o tamanho da amostra em 4 vezes, enquanto que melhorá-la para $\pm 2\%$ aumentará o tamanho da amostra em 100 vezes (Isto é um resultado do erro de amostragem ser proporcionalmente inverso a \sqrt{n}). Selecionar os critérios de amostragem adequados exige o equilíbrio dos requerimentos de *precisão* com os custos de *M&V*.

3. **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. Ver anexo B-5.2. Rever os critérios de *precisão* e *confiança* escolhidos em 2.
4. **Calcular o tamanho da amostra inicial.** Baseando-se na informação acima, uma estimativa inicial do tamanho da amostra global pode ser determinada usando a seguinte equação:

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

B-11

onde:

- n_0 é a estimativa inicial do tamanho da amostra requerido, antes de começar a amostragem
- cv é o *coeficiente de variância*, definido como *desvio padrão* das leituras dividido pela *média*. Até a *média* real e o *desvio padrão* da população puderem ser estimados a partir de amostra reais, 0,5 pode ser usado como uma estimativa inicial para o cv .
- e é o nível desejado de *precisão*.
- z é o valor padrão de distribuição normal do Quadro B-1 acima, com um número infinito de leituras e para o intervalo de *confiança* desejado. Por exemplo z é

1,96 para um intervalo de *confiança* de 95% (1,64 para 90%, 1,28 para 80% e 0,67 para 50% de *confiança*).

Por exemplo, para 90% de *confiança* com 10% de *precisão* e um *cv* de 0,5, a estimativa inicial do tamanho da amostra requerido (n_o) é

$$n_o = \frac{1.64^2 \times 0.5^2}{0.1^2} = 67$$

Em alguns casos (por exemplo, contagem das horas de iluminação ou utilização), pode ser desejável conduzir inicialmente uma pequena amostra com o único objetivo de estimar um valor do *cv* para ajudar a planejar o programa de amostragem. Além disso, valores do trabalho anterior de *M&V* podem ser usados como estimativas iniciais adequadas de *cv*.

5. **Ajustar a estimativa inicial do tamanho da amostra para pequenas populações.** O tamanho da amostra necessário pode ser reduzido se toda a população a ser sujeita a amostragem não for 20 vezes mais do que o tamanho da amostra. Para exemplo inicial do tamanho da amostra, indicado acima, ($n_o = 67$), se a população (N) a partir da qual está a ser retirada a amostra for apenas 200, a população é apenas 3 vezes o tamanho da amostra. Por conseguinte, o “ajuste de população finita” pode ser aplicado. Este ajuste reduz o tamanho da amostra (n) da seguinte forma:

$$n = \frac{n_o N}{n_o + N}$$

B-12

A aplicação deste ajuste de população finita ao exemplo acima descrito reduz o tamanho da amostra (n) necessário para obedecer ao critério de 90%/±10% a 50. Ver um exemplo de utilização deste ajuste no anexo A-3-1.

6. **Finalização do tamanho da amostra.** Uma vez que o tamanho inicial da amostra (n_o) é determinado usando um *cv* suposto, é crucial lembrar-se que o *cv* real da população a ser sujeita a amostragem pode ser diferente. Por conseguinte, um tamanho de amostra real diferente pode ser necessário para obedecer ao critério de *precisão*. Se o *cv* real acabar por ser inferior à suposição inicial no passo 4, o tamanho necessário da amostra será desnecessariamente grande para atingir os objetivos de *precisão*. Se o *cv* real acabar por ser maior do que o suposto, então o objetivo de *precisão* não será atingido a menos que o tamanho da amostra aumente para além do valor calculado pelas Equações B-11 e B-12.

À medida que a amostragem continua, a *média* e o *desvio padrão* das leituras devem ser calculados. O *cv* real e o tamanho da amostra necessários (Equações B-11 e B-12) devem ser novamente calculados. Fazer de novo estes cálculos pode permitir uma redução antecipada do processo de amostragem. Pode também levar à necessidade de realizar mais amostragens do que o originalmente planejado. Para manter os custos de *M&V* dentro do orçamento pode ser apropriado estabelecer um tamanho de amostra máximo. Se este máximo for realmente alcançado após os novos cálculos mencionados acima, os relatórios de *economia* devem registrar a *precisão* real obtida pela amostragem.

B-4 Medição

As quantidades de *energia* e as *variáveis independentes* são muitas vezes medidas como parte de um programa de *M&V*, usando medidores. Nenhum medidor é 100% exato,

embora medidores mais sofisticados possam aumentar a sua exatidão para perto dos 100%. A exatidão dos medidores selecionados é publicada pelo fabricante dos medidores, a partir de testes laboratoriais. O tamanho adequado do medidor, para a gama de quantidades possíveis a ser medidas, garante que os dados recolhidos se inserem dentro de limites de erro (ou *precisão*) conhecidos e aceitáveis.

Os fabricantes avaliam tipicamente a *precisão* ou como uma fração da leitura corrente ou como uma fração da leitura máxima na escala do medidor. Neste último caso, é importante considerar onde se inserem as leituras típicas na escala do medidor antes de calcular a *precisão* de leituras típicas. O tamanho excessivo de medidores cuja *precisão* é estabelecida em relação à leitura máxima, reduzirá significativamente a *precisão* da contagem real.

As leituras de muitos sistemas de medidores irão sofrer um ‘desvio’ ao longo do tempo devido ao desgaste mecânico. É necessária uma recalibração periódica em conformidade com uma norma em vigor para haver um ajuste deste desvio. É importante manter a *precisão* dos medidores no local através de manutenção de rotina e de calibração, em conformidade com as normas em vigor.

Para além da exatidão do próprio elemento do medidor, outros efeitos possivelmente desconhecidos podem reduzir a *precisão* do sistema de contagem:

- má colocação do medidor, de modo a que este não dá uma ‘visão’ representativa da quantidade que é suposto medir (por exemplo, as leituras de um medidor de fluxo de um fluido são afetadas pela proximidade de um cotovelo no cano)
- erros de telemetria dos dados, que cortam aleatória ou sistematicamente os dados do medidor

Como resultados de tais erros de contagem inquantificáveis, é importante compreender que a *precisão* citada pelo fabricante exagera provavelmente a *precisão* das leituras reais no local. No entanto, não há forma de quantificar estes outros efeitos.

As declarações de *precisão* do fabricante devem estar em conformidade com a norma industrial adequada ao seu produto. Deve-se ter cuidado ao determinar o intervalo de *confiança* usado para citar a *precisão* de um medidor. A menos que seja declarado o contrário, a *confiança* deverá ser de 95%.

Quando uma única medição é usada no cálculo da *economia*, em vez da *média* de várias medições, os métodos do anexo B-5 são usados para combinar as incertezas de vários componentes. O *erro padrão* do valor medido é:

$$EP = \frac{\text{precisão relativa do medidor} \times \text{valor medido}}{t}$$

B-13

Onde t se baseia na amostragem maior feita pelo fabricante do medidor, quando desenvolve a sua declaração de *precisão* relativa. Por conseguinte, o valor do Quadro B-1 de t deve ser para tamanhos de amostras infinitas.

Quando se fizer leituras múltiplas com um medidor, os valores observados contêm tanto erros como variações do medidor no fenómeno a ser medido. A *média* das leituras contêm também ambos os efeitos. O *erro padrão* do valor *médio* estimado das medições é encontrado usando a equação B-4.

As seções 4.8.3 e 8.11 abordam mais a contagem e fornecem referências de outras leituras úteis sobre contagem.

B-5 Combinação dos componentes de incerteza

Tanto os componentes de medição como os de ajuste na Equação 1 do Capítulo 4 podem introduzir a incerteza ao reportar a *economia*. As incertezas nos componentes individuais podem ser combinadas de modo a permitir declarações globais da incerteza da *economia*. Esta combinação pode ser realizada, expressando-se a incerteza de cada componente em termos do seu *erro padrão*.

Os componentes devem ser independentes para usar os seguintes métodos de combinar incertezas. A independência significa que quaisquer erros aleatórios que afetem um dos componentes não estão relacionados com os erros que afetam os outros componentes.

Se a *economia* reportada for a soma ou a diferença de vários componentes determinados independentemente (C) (isto é, $Savings = C_1 \pm C_2 \pm \dots \pm C_p$), então o *erro padrão* da economia reportada pode ser estimado por:

$$EP(Economia) = \sqrt{EP(C_1)^2 + EP(C_2)^2 + \dots + EP(C_p)^2} \quad B-14$$

Por exemplo, se a *economia* for calculada usando a Equação 1b) do Capítulo 4 como a diferença entre o *pe de refríodo de referência ajustado* e o *pós-retrofit* medido, o *erro padrão* da diferença (*economia*) é calculado como:

$$EP(Economia) = \sqrt{EP(\text{referência ajustada})^2 + EP(\text{pós - MRE})^2}$$

O $EP(\text{referência ajustada})$ vem do *erro padrão* da estimativa derivada da Equação B-8. O $EP(\text{consumo do 'pós retrofit'})$ provém da exatidão do medidor usando a Equação B-13.

Se a estimativa reportada da *economia* for um produto de vários componentes determinados independentemente (C_i) (isto é, $Savings = C_1 * C_2 * \dots * C_p$), então o *erro padrão* relativo da *economia* é dado aproximadamente por:

$$\frac{EP(Poupança)}{Poupança} \approx \sqrt{\left(\frac{EP(C_1)}{C_1}\right)^2 + \left(\frac{EP(C_2)}{C_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{EP(C_p)}{C_p}\right)^2} \quad B-15$$

Um bom exemplo desta situação é a determinação da *economia* da iluminação como:

$$Economia = \Delta \text{ Watt x Horas}$$

Se o *Plano de M&V* necessitar da medição das horas de utilização, então “Horas” será um valor com um *erro padrão*. Se o *Plano de M&V* também incluir a medição na alteração da potência, então ΔWatts também será um valor com um *erro padrão*. O *erro padrão* relativo da *economia* será calculado usando a fórmula acima da seguinte forma:

$$\frac{EP(Poupança)}{Poupança} = \sqrt{\left(\frac{EP(\Delta \text{Watt})}{\Delta \text{Watt}}\right)^2 + \left(\frac{EP(\text{Horas})}{\text{Horas}}\right)^2}$$

Quando um número de resultados de economia são somados e todos eles têm o mesmo *Erro Padrão*, a *economia* total reportada terá um *Erro Padrão* calculado usando a Equação B-14 de:

$$\begin{aligned} EP \text{ Total (Economia)} &= \\ &= \sqrt{EP(\text{poupança}_1)^2 + EP(\text{poupança}_2)^2 + \dots + EP(\text{poupança}_N)^2} \\ &= \sqrt{N} \times EP(\text{poupança}) \end{aligned}$$

Onde N é o número de resultados da *economia* com o mesmo *Erro Padrão*, que são adicionados juntos.

Uma vez determinado o *erro padrão* da *economia* a partir dos procedimentos descritos acima, é possível tirar conclusões adequadas acerca da quantidade relativa de incerteza inerente à *economia*, usando função de distribuição normal, a Figura B-1 ou os dados no Quadro B-1 com mais de 30 leituras. Por exemplo, pode-se calcular três valores:

1. a *precisão absoluta* ou *relativa* da *economia* total, para um dado intervalo de *confiança* (por exemplo, 90%), é calculada usando o valor relevante de t do Quadro B-1 e a Equação B-5 ou B-7, respectivamente.
2. *Erro Provável (EP)*, definido como uma faixa de *confiança* de 50%. O *Erro Provável* representa a quantidade de erro mais provável. Quer dizer, é igualmente provável que o erro seja maior ou menor do que o *EP*. (ASHRAE, 1997). O Quadro B-1 mostra que o intervalo de *confiança* de 50% é atingido a $t = 0,67$ para tamanhos de amostras maiores do que 30, ou $0,67$ *erros padrão* do valor *médio*. Assim a gama do *erro provável* na *economia* reportada usando a Equação B-6 é $\pm 0,67 \times EP$ (*Economia*).
3. O limite de *confiança* de 90% (*LC*), definido como a gama onde se tem 90% de certeza de que os efeitos aleatórios não produziram a diferença observada. Do Quadro B-1 usando a Equação B-6, o *LC* é $\pm 1,64 \times EP$ (*Economia*) para tamanhos de amostras maiores do que 30.

B-5.1 Avaliação das interações dos múltiplos componentes da incerteza

As Equações B-14 e B-15 para combinar componentes de incerteza podem ser usadas para estimar como os erros numa componente afetarão a exatidão do relatório global da *economia*. Os recursos de *M&V* podem então ser concebidos de modo a reduzir de forma rentável o erro na *economia* reportada. Tais considerações de concepção teriam em consideração os custos e os efeitos na *precisão* da *economia* de possíveis melhoramentos na *precisão* de cada componente.

As aplicações de software escritas para ferramentas comuns de planilhas de cálculo permitem a fácil avaliação do erro sistemático associado à combinação dos múltiplos componentes de incerteza, usando as técnicas de Monte Carlo. A análise de Monte Carlo permite a avaliação de múltiplos cenários “e se” revelando a gama de resultados possíveis, a sua probabilidade de ocorrência, e que componente tem o maior efeito no rendimento final. Uma tal análise identifica onde os recursos necessitam de ser localizados para controlar o erro.

Uma simples ilustração da análise “e se” é apresentada mais abaixo para uma MRE de um sistema de iluminação. Um aparelho de iluminação nominal de 96 W é substituído por um aparelho nominal de 64 W. Se o aparelho funcionar durante 10 horas por dia, a *economia* anual seria calculada da seguinte forma:

$$\text{Poupança Anual} = \frac{(96 - 64) \times 10 \times 365}{1,000} = 117 \text{ kWh}$$

A nova potência do aparelho de iluminação de 64 W é consistente e facilmente medida com exatidão. No entanto, existem muitas variações entre as vatagens do velho aparelho e entre as horas de utilização em diferentes locais. As vatagens do velho aparelho de iluminação e as horas de utilização não são facilmente medidas com certeza. Por conseguinte, a *economia* também não será conhecida com certeza. O desafio da concepção da M&V está em determinar o impacto na *economia* reportada se a medição de uma ou de outra destas quantidades de incerteza estiver errada por quantidades plausíveis.

A Figura B2 mostra uma análise de sensibilidade da *economia* para os dois parâmetros, potência do velho aparelho e horas de utilização. Cada um variou até 30% e o impacto na *economia* é demonstrado. Pode-se ver que a *economia* é significativamente mais sensível à variação da potência do velho aparelho do que às horas de utilização. Um erro de potência de 30% produz um erro de *economia* de 90%, enquanto que um erro de 30% nas horas de funcionamento produz apenas um erro de *economia* de 30%.

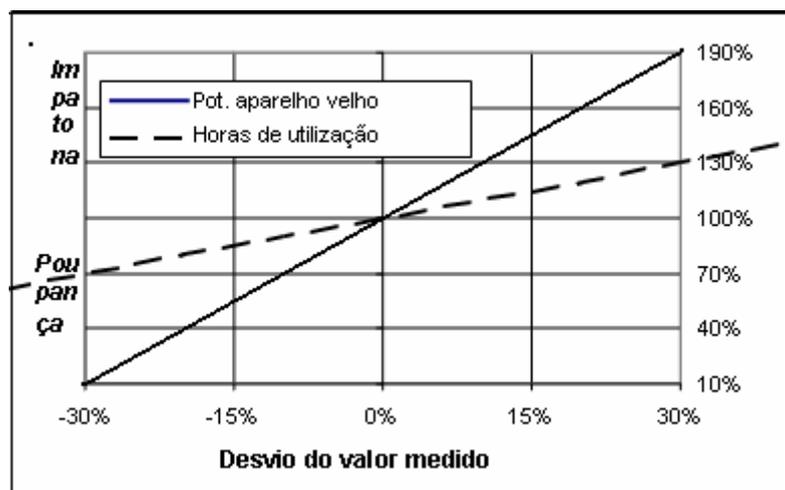


Figura B-2.
Exemplo da Análise de sensibilidade – Economia na iluminação

Se o método de M&V proposto produzir leituras da energia do velho aparelho de iluminação com uma gama de incerteza de $\pm 5\%$, a gama de incerteza da *economia* de eletricidade será de $\pm 15\%$. Por outras palavras, se a potência do velho aparelho pudesse ser entre 91 e 101 watts, a *economia* poderia ser entre 99 e 135 kWh anualmente. A gama de incerteza na *economia* é 36 kWh (135 - 99). Se o valor marginal de eletricidade for de 10 cents por kWh, a gama de incerteza é de cerca de \$3,60 anualmente. Se a potência do velho aparelho pudesse ser estimada com uma maior *precisão* por significativamente menos de \$3,60, então poderia valer a pena aumentar os esforços de medição, dependendo do número de anos de *economia* a ser considerado.

A Figura B2 mostra que o termo horas de utilização tem menos impacto na *economia* final neste exemplo (a linha de horas de utilização é mais horizontal indicando uma sensibilidade mais baixa). É plausível que o erro na medição das horas de funcionamento seja de $\pm 20\%$, por isso a gama de incerteza da *economia* de energia é também de $\pm 20\%$ ou ± 23 kWh (= 20% de 117 kWh). A gama na *economia* é de cerca de 46 kWh (= 2 x 23 kWh), de um valor de \$4,60 por ano. Novamente pode ser justificado o aumento da exatidão na medição das horas de utilização, se isso puder ser feito por significativamente menos do que \$4,60, dependendo do número de anos de *economia* a ser considerado.

A gama de erros possíveis de *economia* proveniente de erros de medição das horas de funcionamento (46 kWh) é maior do que a proveniente do erro de medição da energia do velho aparelho (36 kWh). Este é o efeito oposto ao que se poderia esperar, baseando-se na maior sensibilidade da *economia* à potência do que às horas de utilização, como serviu na Figura B2. Esta diferença surge porque o erro plausível de medição das horas de funcionamento ($\pm 20\%$) é muito maior do que o erro plausível da medição de energia do velho aparelho de iluminação ($\pm 5\%$).

Uma análise de sensibilidade como a que foi apresentada acima pode assumir várias formas. O simples exemplo anterior foi usado para mostrar os princípios. A simulação de Monte Carlo, permite a consideração complexa de muitos parâmetros diferentes, permitindo à concepção da *M&V* focalizar-se nas despesas onde estas são mais necessárias para melhorar a exatidão global dos relatórios de *economia*.

B-5.2 Estabelecimento de objetivos para a incerteza quantificável da *economia*

Como discutido no anexo B-1, nem todas as incertezas podem ser quantificáveis. No entanto, aquelas que podem ser quantificáveis fornecem orientação no planejamento da *M&V*. Ao considerar o custo de *M&V* de várias abordagens opcionais à incerteza, o programa de *M&V* pôde produzir o tipo de informação que é aceitável para todos os leitores do relatório de *economia*, incluindo aqueles que têm de pagar pelos relatórios de *M&V*. Finalmente, qualquer *Plano de M&V* deve reportar o nível esperado de incerteza quantificável (ver Capítulo 5).

A determinação da *economia de energia* requer que se estime a diferença entre os níveis de *energia*, em vez de medir simplesmente o próprio nível de *energia*. Geralmente, calcular uma diferença para que ela se adeque ao critério de *precisão relativa* do objetivo requer uma melhor *precisão absoluta* nas medições dos componentes do que a *precisão absoluta* requerida da diferença. Por exemplo, supondo que a carga média é de cerca de 500 kW e *economia* antecipada é de cerca de 100 kW. Um erro de $\pm 10\%$ com um critério de *confiança* de 90% ("90/10") pode ser aplicado de duas formas:

- Se for aplicado às medições de carga, a *precisão absoluta* deve ser de 50 kW (10% de 500 kW) com uma *confiança* de 90%.
- Se for aplicado à *economia* reportada, a *precisão absoluta* na *economia* deve ser de 10 kW (10% de 100 kW) no mesmo intervalo de *confiança* de 90%. Para obter esta *precisão absoluta na economia reportada* de 10 kW são necessárias *precisões absolutas* de 7 kW na medição dos componentes (usando a Equação B-14, se ambos os componentes precisarem de ter a mesma *precisão*).

Claramente, a aplicação do critério de *confiança/precisão* 90/10 ao nível da *economia* requer muito mais precisão na medição da carga do que um requerimento de 90/10 ao nível da carga.

O critério da *precisão* pode ser aplicado não só à *economia de energia*, mas também a parâmetros que determinam a *economia*. Por exemplo, suponhamos que o valor da *economia* é o produto do número (*N*) de unidades, de horas (*H*) de funcionamento e alteração (*C*) em watts: $Economia = N \times H \times C$. O critério de 90/10 podia ser aplicado separadamente a cada um destes parâmetros. No entanto, obter uma *precisão* de 90/10 para cada um destes parâmetros separadamente não implica que 90/10 seja obtido para a *economia*, que é o parâmetro de principal interesse. De fato, usando a Equação B-15, a *precisão* a 90% a *confiança* seria apenas de $\pm 17\%$. Por outro lado, se se supõe que o número de unidades e a alteração em watt são conhecidos sem erro, uma *precisão* de 90/10 para as horas implica uma *precisão* de 90/10 para a *economia*.

A norma de *precisão* podia ser imposta a vários níveis. A escolha do nível de desagregação afeta dramaticamente a concepção da *M&V* e os custos associados. Geralmente, as necessidades mínimas nas obtenções de dados aumentam se as necessidades mínimas de *precisão* são impostas a cada componente. Se o objetivo principal for o de controlar a *precisão* da *economia* para um projeto como um todo, não é necessário impor a mesma necessidade mínima de *precisão* a cada componente.

B-6 Exemplo de uma análise de incerteza

Para ilustrar a utilização de várias ferramentas estatísticas para a análise da incerteza, o Quadro B-3 mostra um exemplo de resultados numa planilha de cálculo do modelo de regressão. É a regressão dos valores de 12 meses de um medidor de consumo, pertencente a uma empresa do setor da eletricidade, de um edifício e os *graus-dia* de

refrigeração (GDR) durante o período de um ano. Este é apenas o resultado parcial da folha de cálculo. Os valores específicos de interesse estão realçados em itálico.

SUMÁRIO DOS RESULTADOS

Estatísticas de regressão						
R Múltiplo	0,97					
<i>Coeficiente de determinação</i>	<i>0,93</i>					
Coeficiente de determinação ajustado	0,92					
<i>Erro padrão</i>	<i>367,50</i>					
Observações	12,00					
	<i>Coeficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Dist T</i>	<i>95% inferior</i>	<i>95% superior</i>	
<i>Ordenada origem</i>	<i>na</i>	5 634,15	151,96	37,08	5 295,56	5 972,74
<i>GDR</i>	<i>7,94</i>	<i>0,68</i>	<i>11,64</i>	<i>6,42</i>	<i>9,45</i>	

Quadro B-3
Exemplo dos resultados numa folha de cálculo da análise de regressão

Para um consumo de referência de 12 meses para os kWh e os pontos de dados de GDR o modelo de regressão derivado é:

$$\text{Consumo de eletricidade mensal} = 5\,634,15 + (7,94 \times \text{GDR})$$

O coeficiente de determinação, R^2 , (denominado como “coeficiente de determinação” no Quadro B-3) é bastante alto em 0,93, indicando que 93% da variação nos 12 pontos de dados de energia é explicado pelo modelo usando dados de GDR. Este fato implica uma forte relação e que o modelo pode ser usado para estimar termos de ajuste na forma relevante da Equação 1 no Capítulo 4.

O coeficiente estimado de 7,94 kWh por GDR tem um *erro padrão* de 0,68. Este EP leva a uma *distribuição-t* (denominada “dist T” no Quadro B-3) de 11,64. Esta *distribuição-t* é então comparada ao valor crítico adequado de t no Quadro B-1 ($t = 2,2$ para 12 pontos de dados e uma *confiança* de 95%). Porque 11,64 ultrapassa 2,2, o GDR é uma *variável independente* altamente significativa. A planilha de cálculo também mostra que a extensão para o coeficiente a um intervalo de *confiança* de 95% é de 6,42 a 9,45 e implica uma *precisão relativa* de $\pm 19\%$ ($= (7,94 - 6,42) / 7,94$). Por outras palavras, tem-se uma *confiança* de 95% que cada GDR adicional aumenta o consumo de kWh entre 6,42 e 9,45 kWh.

O *erro padrão da estimativa* usando a fórmula de regressão é de 367,5. Os GDRs médios por mês são de 162 (não mostrado no resultado). Para prever qual teria sido o consumo elétrico sob condições médias de refrigeração, por exemplo, este valor GDR é inserido no modelo de regressão:

$$\begin{aligned} \text{Consumo previsto} &= 5\,634 + (7,94 \times 162) \\ &= 6\,920 \text{ kWh por grau-dia de refrigeração médio mensal} \end{aligned}$$

Usando um valor- t do Quadro B-1 de 2,2, para 12 dados e um intervalo de *confiança* de 95%, a faixa de previsões possíveis é:

$$\text{Faixa de previsões} = 6\,920 \pm (2,2 \times 367,5) = 6\,112 \text{ a } 7\,729 \text{ kWh.}$$

A *precisão absoluta* é de cerca de ± 809 kWh (= $2,2 \times 367,5$) e a *precisão relativa* é $\pm 12\%$ (= $809 / 6\,920$). O valor descrito na planilha de cálculo para o *erro padrão da estimativa* forneceu a informação necessária para calcular a *precisão relativa* prevista quando da utilização do modelo de regressão para qualquer período de um mês, neste caso 12%.

Se o consumo no pós-RME foi de 4 300 kWh, a *economia* calculada usando a Equação 1b) do Capítulo 4, será:

$$\text{Economia} = 6\,920 - 4\,300 = 2\,620 \text{ kWh}$$

Uma vez que o medidor da concessionária foi usado para obter o valor da eletricidade no 'pós-retrofit', os seus valores reportados podem ser tratados como sendo 100% exatos (EP = 0%) porque o medidor da concessionária define os montantes pagos, independentemente do erro do medidor. O EP do número da *economia* será:

$$\begin{aligned} EP(\text{Poupança Mensal}) &= \sqrt{EP(\text{referência ajustada})^2 + EP(\text{consumo pós - MRE})^2} \\ &= \sqrt{367,5^2 + 0^2} = 367,5 \end{aligned}$$

Usando um t de 2,2, a faixa da *economia* mensal possível é

$$\begin{aligned} \text{Faixa de economia} &= 2\,620 \pm (2,2 \times 367,5) \\ &= 2\,620 \pm 809 = 1\,811 \text{ a } 3\,429 \end{aligned}$$

Para determinar a *precisão* do total anual da *economia* mensal, presume-se que o *erro padrão* da *economia* de cada mês será o mesmo. A *economia* anual reportada tem então um *erro padrão* de:

$$EP(\text{economia anual}) = \sqrt{12 \times 367,5^2} = 1\,273 \text{ kWh}$$

Uma vez que t deriva do modelo do *período de referência*, permanece no valor 2,2 usado acima. Por conseguinte, a *precisão absoluta* na *economia* anual é de $2,2 \times 1\,273 = 2\,801$ kWh.

Presumindo *economias* mensais equivalentes a 2 620 kWh, a *economia* anual é de 31 440 kWh e a *precisão relativa* do relatório de *economia* anual é de 9% (= $(2\,801 / 31\,440) \times 100$).

A

adesão, 13, 18, 24, 63, 71, 78, 88
adherence, 12, 13, 17, 19, 24
adjustments, 11, 12, 13, 23, 25, 26, 29, 30, 33, 34, 35, 37, 40, 41, 45, 46, 50, 60, 64, 65, 66, 68, 70, 71, 77, 78, 79, 80, 91, 99, 108, 114
 baseline adjustments, 65
 non-routine adjustments, 12, 32, 34, 39, 43, 46, 48, 50, 51, 52, 61, 65, 66, 70, 71, 77, 96
 routine adjustments, 12, 32, 34, 35, 39, 40, 43, 46, 48, 50, 51, 52, 61, 65, 66, 68, 70, 71, 77, 78, 96
 Ajustes de referência, 77
 Ajustes de rotina, 34, 35, 36, 39, 77
 Ajustes não de rotina, 77
 Análise de regressão, 77
 ASHRAE, 11, 18, 31, 43, 48, 49, 51, 53, 55, 67, 73, 81, 82, 83, 84, 85, 105, 114, 124
 ASHRAE Guideline 14, 43, 48, 49, 51, 53, 55, 67, 73, 105, 114
 avoided energy use, 29, 35, 78, 80, 87

B

baseline, 12, 15, 17, 21, 22, 23, 24, 25, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 39, 40, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 55, 56, 59, 60, 65, 67, 71, 73, 87, 90, 93, 94, 96, 98, 100, 101, 102, 105, 107, 123, 129
 baseline adjustments, 65
 baseline period, 11, 17, 30, 32, 36, 39, 40, 44, 50, 52, 59, 60, 62, 73, 78, 80

C

calibration, 23, 26, 48, 52, 53, 54, 55, 56, 60, 61, 66, 67, 68, 75, 100, 109, 118, 122
 Coeficiente de determinação, 77, 116, 127
 Coeficiente de variância, 77
 confidence, iv, 26, 67, 69, 71, 90, 92, 93, 94, 102, 105, 109, 111, 113, 114, 119, 120, 121, 124, 126, 127
 Contrato de performance energética, 77
cost, 11, 13, 17, 19, 23, 30, 46, 51, 54, 60, 64, 65, 68, 69, 70, 73, 74, 78, 88, 103, 108
 cv, 77, 92, 93, 121, 122
 CV(RMSE), 77, 105, 118
 cycle, 32, 33, 42, 51, 80

D

degree day, 50, 79, 128
 Desvio padrão, 77, 111, 113
 Distribuição-t, 78

E

Economia, 78
economia de energia, 47
 Economia normalizada, 78
 Efeitos interativos, 67, 78
 Empresas de serviços de energia (ESCO), 78
 Energia de referência, 78
energy conservation measure, 11, 17, 22, 26, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 52, 55, 56, 58, 59, 60, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 78, 79, 80, 87, 90, 91, 100, 109
 erro médio quadrático, 77, 105, 118
 Erro padrão, 78, 102, 111, 113, 117, 127
 Erro padrão da estimativa, 78, 102, 117
 Erro padrão do coeficiente, 78
 Erro provável, 78
 Erro sistemático médio (ESM):, 78
 Estimativa:, 78

F

Fatores estáticos, 78
 Fronteira de medição, 79

G

Graus-dia, 79

I

independent variable, 13, 21, 23, 34, 36, 40, 43, 50, 52, 54, 59, 60, 68, 96, 114, 115, 117, 118, 127
interactive effect, 12, 32, 41, 52, 56, 59, 89, 96
 intervalo de *confiança*, 80, 90, 92, 110, 111, 112, 113, 120, 121, 122, 124, 126, 128

L

LEED, 18, 20, 24

M

M&V Reporting, 12
 mean, 28, 47, 50, 90, 92, 93, 96, 110, 112, 114, 116, 117, 121, 122

measurement boundary, 12, 22, 31, 32, 34, 38, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 47, 48, 51, 58, 59, 60, 65, 66, 67, 70, 77, 78, 79, 90, 96, 99, 101, 104
Medição e Verificação (M&V), 79
Medições, 37, 39, 40, 47, 54, 79
medida de racionalização de energia, 21
model, 36, 40, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 60, 65, 98, 103, 105, 107, 108, 110, 114, 115, 116, 117, 119, 127, 128, 129
Modelo de simulação, 79

N

normalized savings, 36, 60, 64, 78

O

On/Off test, 33
Opção A, 6, 44, 46, 65, 68, 88, 89, 91, 92, 93, 99
Opção B, 6, 41, 46, 70, 88, 89, 94, 96, 97
Opção C, 5, 6, 31, 48, 55, 70, 101, 103, 107
Opção D, 5, 6, 32, 52, 53, 55, 61, 104, 107
Option A, 11, 18, 20, 22, 23, 37, 38, 41, 43, 44, 45, 46, 52, 61, 62, 65, 67, 68, 70, 82, 87, 89, 92, 93, 98, 109
Option B, 20, 22, 23, 44, 46, 47, 66, 68, 70, 88, 89, 93, 94, 97
Option C, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 31, 38, 42, 43, 48, 49, 50, 51, 52, 55, 66, 68, 70, 100, 103, 105, 108
Option D, 11, 21, 23, 24, 32, 34, 37, 43, 46, 47, 52, 53, 54, 55, 56, 61, 64, 68, 69, 73, 104, 106, 118

P

período de referência, 6, 21, 23, 24, 29, 30, 32, 34, 35, 36, 40, 44, 46, 47, 48, 50, 52, 55, 56, 58, 59, 60, 62, 64, 65, 66, 67, 70, 71, 72, 73, 77, 78, 80, 91, 93, 94, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 110, 115
período pós-retrofit, 77
Plano de M&V, 80
precisão, 19, 20, 21, 22, 28, 30, 37, 47, 51, 53, 54, 55, 56, 60, 61, 66, 67, 68, 69, 70, 73, 80, 88, 90, 92, 99, 102, 109, 110, 111, 112, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 126, 127, 128, 129

precision, 67, 69, 70, 79, 90, 92, 93, 102, 111, 112, 119, 120, 121, 122, 124, 125, 126, 128, 129
price, 25, 64, 92, 94, 105
marginal price, 65
Principles of M&V, 11, 28, 30, 63
probable error, 124

R

R^2 , 51, 77, 101, 102, 115, 116, 117, 127
regression analysis, 40, 50, 58, 98, 114, 115, 116
reporting period, 21, 22, 25, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 43, 45, 46, 48, 49, 50, 51, 52, 55, 56, 60, 61, 62, 63, 65, 68, 69, 70, 71, 76, 78, 80, 100, 102, 105, 115
Representante (“proxi”):, 80

S

sample, 24, 25, 42, 61, 66, 87, 119, 120
sampling, 19, 24, 42, 46, 60, 66, 74, 120
significant digits, 78, 88, 91, 92, 100, 106
standard deviation, 90, 92, 93, 109, 111, 121, 122
standard error, 90, 102, 109, 111, 119, 122, 123, 124, 127, 128
standard error of the estimate, 128
static factor, 12, 21, 22, 34, 40, 48, 50, 51, 52, 54, 59, 60, 65, 68

T

t-statistic, 78, 102, 116, 118, 119, 127

U

uncertainty, 11, 14, 17, 19, 25, 43, 46, 50, 60, 66, 67, 69, 70, 71, 108, 109, 123, 124, 126
Uso de referência, 80

V

variance, 51, 103, 104, 109, 110, 111, 121
Variância, 80, 110, 113
Variável independente, 80
verification, 13, 14, 15, 26, 71



A EVO agradece aos seus atuais assinantes principais:

Pacific Gas and Electric Company

San Diego Gas & Electric Company

Southern California Edison