

FÁBIO CORREA LEITE

**MODELAMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
PARA O GERENCIAMENTO SUSTENTÁVEL NO SETOR INDUSTRIAL
PELA MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de mestre em
Engenharia Elétrica.

São Paulo
2010

FÁBIO CORREA LEITE

**MODELAMENTO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
PARA O GERENCIAMENTO SUSTENTÁVEL NO SETOR INDUSTRIAL
PELA MEDIÇÃO E VERIFICAÇÃO**

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de mestre em
Engenharia Elétrica.

Área de Concentração:
Sistemas de Potência.

Orientador: Prof. Livre-Docente
José Aquiles Baesso Grimoni

São Paulo
2010

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Doutores José Aquiles Baesso Grimoni, Miguel Edgar Morales Udaeta e Luiz Natal Rossi pela orientação durante estes anos, pelas discussões que estimularam e desenvolveram minha capacidade de análise e reflexão e pelo suporte irrestrito as pesquisas dentro da universidade.

A todos os pesquisadores do PIR e IEE com os quais compartilhei idéias e experiências durante este período, entre eles: Décio Cicone Junior, Vinícius José Santos Lopes, Ricardo Lacerda Baitelo, Mario Biague, André Veiga Gimenes, Fatuma Ondongo, Mário Cesar do Espírito Santo Ramos, Thais Mazziotti Salomão e Enio A. Kato.

À minha companheira, Juliana Saconato, ao meu pai Vagner Correa Leite e irmão Fernando Correa Leite, aos amigos Vinícius Brandão e Mariana Saconato pelo apoio às minhas atividades acadêmicas e aos colegas da DuPont Luiz Kazunori Tomiyoshi, Fábio Aléssio Romano Dionisi e Marco Antonio Nakazone pelo suporte irrestrito.

Ao IEEE por proporcionar o *networking* com outros profissionais da área de energia, ao Instituto de Eletrotécnica e Energia por proporcionar um desafiador ambiente de discussão e ao Departamento de Energia e Automação Elétricas da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pelo acolhimento e suporte contínuo.

E a todos que colaboraram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

Obrigado!

RESUMO

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

O objetivo do trabalho é analisar os protocolos mais conhecidos de medição e verificação de programas de eficiência energética sob da ótica a aplicação do recurso privado em projetos de eficiência energética. A simples comparação de faturas de energia e a utilização não rigorosa de indicadores para determinação da energia economizada praticamente deixa de ser uma opção com a disponibilização de padrões compreensivos de M&V. Para tal são analisados estudos de caso de projetos de eficiência energética nos segmentos comercial e industrial e estes indicam um distanciamento entre as ferramentas modernas de M&V e a realidade, de modo que há dúvidas sobre garantia da sustentabilidade das ações ao longo do tempo. Dessa análise dos protocolos e estudos de caso foram identificadas demandas que são partes de uma metodologia proposta em 9 etapas focadas na sustentabilidade da energia economizada. A aplicação dessa metodologia é complementar à aplicação dos protocolos, tal que o engenheiro de eficiência energética possa pensar em todo processo de gestão e não apenas na implementação das MCEs. Esse trabalho conclui que a simples aderência aos protocolos de M&V é insuficiente para garantir a sustentabilidade das ações de conservação de energia a longo prazo.

Palavras-Chave: Eficiência Energética, Protocolos de Medição e Verificação, Gerenciamento Sustentável pelo Lado da Demanda

ABSTRACT

LEITE, F. C. **Energy efficiency modeling for the sustainable management through the measurement and verification.** 2010. 94 p. Dissertation (M. Sc.) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

The purpose of this work is to analyze the most well known Measurement and Verification protocols to energy efficiency programs under private capital owner perspective. The simple comparison between energy bills and the non rigorous use of energy efficiency indicators in the energy savings calculation are not an option anymore with the introduction of comprehensive M&V protocols. With this aim, energy efficiency case studies are analyzed in the commercial and industrial sectors and indicated there's a gap between the modern M&V tools and the reality. Doubts around the sustainability of energy savings in the long term raised. Based on literature review, analysis of protocols and case studies, improvement opportunities were identified and are part of a 9 steps methodology focused on the sustainability of energy savings proposed in this work. This methodology works in cooperation with current M&V protocols. The EE engineer shall then be able to think in the overall management process and not only in the Energy Conservation Measure. This work concluded that the M&V tools adherence solely is insufficient to guarantee the sustainability of energy savings in the long term.

Keywords: Energy Efficiency, Measurement and Verification Protocols, Sustainable Demand Side Management

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplo de histórico para determinação de energia economizada	19
Figura 2 – Abordagem geral dos requisitos mínimos de conformidade.....	28
Figura 3 – Fluxograma do processo de conformidade da abordagem para toda instalação	33
Figura 4 – Fluxograma do processo de conformidade para abordagem de instalação reformada.....	34
Figura 5 – Fluxograma do processo de conformidade para abordagem de simulação calibrada	36
Figura 6 – Diagrama de balanço de energia com as perdas do sistema.....	45
Figura 7 – Dados de consumo do <i>booster</i> Calvet	48
Figura 8 – Consumo real de energia elétrica em kWh vs. consumo estimado pelo primeiro modelo de simulação.....	51
Figura 9 – Consumo real de energia elétrica em kWh vs. consumo estimado pelo modelo de simulação após a 4ª calibração	51
Figura 10 – Extrato de caixa dos primeiros 5 anos do resultado do programa de eficiência energética do estudo de caso 3.	55
Figura 11 – Fluxograma de seleção de estratégia de M&V.	63
Figura 12 – Comparação pre e pós reforma do consumo de combustível (Diesel/Gás Natural) durante dois ciclos inteiros.....	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sumário das opções de estratégia de medição e verificação.....	20
Tabela 2 – Requisitos específicos do plano de M&V segundo o tipo de abordagem selecionada.....	30
Tabela 3 – Comparação da estratificação do IPMVP e ASHRAE 14 (2002).....	40
Tabela 4 – Oportunidades de economia em sistemas de bombeamento	46
Tabela 5 – Oportunidades de melhoria da eficiência no bombeamento.....	46
Tabela 6 – Economia de eletricidade mensal em edifício comercial em Shanghai.....	52
Tabela 7 – Prêmios de risco por tipo de investimento	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACB	Análise de Custo Benefício
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
BEP	Barril Equivalente de Petróleo
CAPEX	Capital Expenditure (investimento em bens de capital, em português)
COMUSA	Companhia de Águas de Novo Hamburgo
CPTEC	Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
DOE	Department of Energy (USA)
EE	Eficiência Energética
EN-IN	Atores Envolvidos e Interessados (<i>stakeholders</i> , em inglês)
ERP	Enterprise Resource Planning
ESCO	Energy Services Company
EVO	Efficiency Valuation Organization
GCV	Gross Calorific Value
GEE	Gases de efeito estufa
GEF	Global Environment Facility
GEPEA	Grupo de Energia do Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas da EPUSP
GLD	Gerenciamento pelo Lado da Demanda
IEE	Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPA	Independent Project Analysis
IPMVP	International Performance Measurement Verification Protocol
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
MCE	Medida de Conservação de Energia
M&V	Medição e Verificação
MT&R	Monitoring, Targeting and Reporting
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NPSH	Net Positive Suction Head
OPEX	Operational Expenditure (despesas operacionais, em português)

PEE	Programa de Eficiência Energética
PIR	Planejamento Integrado de Recursos Energéticos
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
SIGE	Sistemas Integrados de Gestão Empresarial, no Brasil
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
TON	Tonelada
USP	Universidade de São Paulo
WSSD	World Summit on Sustainable Development
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Justificativa.....	12
1.2 Objetivo	14
1.3 Metodologia e Organização do Trabalho.....	14
2 ESTUDO DO ESTADO ATUAL DOS PROTOCOLOS DE M&V.....	16
2.1 Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance	16
2.1.1 Elementos do IPMVP	16
2.1.2 Determinação de escopo e linha de base.....	17
2.1.3 Determinação da energia economizada	18
2.2 Medindo a Energia e Demanda Economizadas – ASHRAE 14 (2002).....	21
2.2.1 Escopo de aplicação e utilização	21
2.2.2 Abordagens para determinação da energia/ demanda economizada.....	23
2.2.3 Elementos para determinação da energia economizada	24
2.2.4 Requisitos para conformidade com o ASHRAE 14-2002	27
2.2.5 Plano de medição e verificação	29
2.2.6 Seleção da abordagem para determinação da energia economizada.....	32
3. EE VINCULADA AO USO DE PROTOCOLOS DE M&V	37
3.1 A Contribuição dos Protocolos de M&V.....	38
3.2 A Utilização de Protocolos de M&V para Tornar os Projetos de EE Atrativos.....	39
3.2.1 Obtenção de estimativas através de dados limitados.....	39
3.2.2 Estratificação	40
3.3 Pontos Fortes e Deficiências dos Protocolos de M&V Atuais	41
4 LEVANTAMENTO DE ESTUDOS DE CASO DE PROJETOS DE EE	44
4.1 Estudo de Caso 1 – Aplicação de Inversores de Frequência em <i>Boosters</i>	44
4.2 Estudo de Caso 2 – Simulação Calibrada em Edifício Comercial.....	49
4.3 Estudo de Caso 3 – Implementação de Motores de Alto Rendimento	53
5 PROPOSTA DE MODELO DE GESTÃO SUSTENTÁVEL DA EE	56

5.1 Modelo de Gestão Sustentável de EE na Indústria.....	56
5.1.1 Obter o suporte/ acordo da liderança.....	57
5.1.2 Identificar líder de EE	58
5.1.3 Identificar equipe de EE	58
5.1.4 Executar diagnóstico das instalações	59
5.1.5 Definir plano de M&V.....	62
5.1.6 Tomada de decisão sobre implementação de MCEs	65
5.1.7 Implementação das MCEs	69
5.1.8 Monitorar performance das MCEs	70
5.1.9 Auditoria da linha de base.....	71
5.2 Indicadores de eficiência energética.....	72
5.2.1 Indicadores energéticos	73
5.2.2 Indicadores físico-energéticos.....	75
5.2.3 Indicadores econômico-energéticos	76
5.2.4 Indicadores Econômicos	76
5.3 Regressão multivariável.....	77
6 CONCLUSÕES	80
7 REFERÊNCIAS	83
ANEXO A – LISTA DE VERIFICAÇÃO DE OPORTUNIDADES DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA.....	89

1 INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

Em 2002, no GEF (Global Environment Facility), um evento paralelo à preparatória do WSSD (World Summit on Sustainable Development) em Johannesburgo, determinou-se que:

[...] os governos deveriam adotar metas e prazos para incrementar tanto a eficiência energética quanto o uso de combustíveis renováveis baseando-se em metas existentes, como a da Comunidade Européia em atingir 12 por cento de energia de renováveis até 2010 e a da Índia de atingir 10 por cento na nova geração de eletricidade a partir de renováveis até 2012. (Lucon e Coelho, 2002, p.05)

Assim, a eficiência energética passava formalmente a fazer parte das metas do milênio para o desenvolvimento sustentável. Nesse sentido “a importância da eficiência energética como objetivo prático está ligada à competitividade comercial, industrial e à segurança energética, assim como a crescentes benefícios ambientais, como a redução das emissões de CO₂” (Patterson, 1996, p.377, tradução nossa)

No Brasil, como forma de estimular a implementação de projetos de eficiência energética, foram concebidos os leilões EE. Esses leilões, apesar de até o instante desse estudo não representarem ainda uma realidade prática, são uma alternativa para expandir o sistema elétrico através da redução do consumo pela venda de eficiência energética. Essa é uma idéia aventada desde a concepção do novo modelo energético brasileiro em 2002 e existe nos EUA desde 1987 (Garcia, 2008). Assim, nos próximos anos, eles devem compor a matriz energética brasileira e servir como opção de investimento para as indústrias brasileiras.

Porém, estudos de caso de projetos de eficiência energética nos segmentos comercial e industrial analisados nesse trabalho indicam um distanciamento entre as ferramentas modernas de medição e verificação e a realidade, tal que há dúvidas sobre garantia da sustentabilidade das ações ao longo do tempo. À exceção daqueles projetos implementados por ESCOs, em que há um compromisso comercial formal, a maioria dos projetos implementados falha em ter medidas para garantir sua

sustentabilidade porque não estão inseridos nas estratégias de negócio das empresas.

O gerenciamento pelo lado da demanda (GLD), fator essencial para eficiência energética, é de difícil aplicação e gestão uma vez que tem caráter voluntário. Quando faz parte de políticas governamentais, os processos de GLD têm mais chance de serem exitosos, como substituição de lâmpadas na iluminação pública, aumento da eficiência de motores, programas de etiquetagem, como mencionado por Haddad (2005). Apesar do importante papel de iniciativas governamentais em GLD e o exemplo notório da lei de eficiência energética, a contabilização da energia economizada é difícil e pouco precisa. Outros autores já discutiram antes a dificuldade de estabelecer metodologias que estejam suportadas por políticas como por exemplo Wu et al. (2007) que alerta sobre o caso de Taiwan onde apesar de diversos projetos de EE terem sido incentivados e implementados, os indicadores nacionais não refletem a economia obtida, ou Patterson (1996) que estabeleceu uma diferenciação entre os vários níveis de indicadores de EE tal que não é imediata a harmonia entre eles.

A simples aquisição de equipamentos mais eficientes, apesar de desejável, não é garantia de eficiência energética. Grande parte da economia potencial está na forma de utilizar a energia. Ou seja, é contraproducente produzir a tonelada de vapor mais eficiente se esse mesmo vapor é desperdiçado no processo ou produzido eficientemente apenas no primeiro mês de operação da caldeira.

A motivação desse estudo surge justamente da demanda de integrar o gerenciamento sustentável da eficiência energética na indústria à estratégia do negócio.

[..] em alguns casos, o efeito quantitativo da economia de uma medida de conservação não é exatamente conhecido pelas empresas devido à falta de medição e verificação. Mesmo nos casos onde a economia de custo é significativa e relevante para a decisão, dados confiáveis são raramente obtidos, deixando a avaliação aberta ao julgamento pessoal. Esta falta de parâmetros objetivos de decisão destaca o caráter subjetivo das avaliações de rentabilidade. (Kissock e Eger apud Ramestohl, 2008, p.348, tradução nossa)

1.2 Objetivo

O objetivo é sintetizar um modelo de gestão sustentável da eficiência energética no setor industrial integrado às práticas de medição e verificação que contribuem para tornar o processo de eficiência energética mais tangível, e que ao mesmo tempo aumentam a competitividade entre organizações.

1.3 Metodologia e Organização do Trabalho

Para atingir o objetivo de sintetizar o modelo de gestão sustentável da eficiência energética determinou-se o estado da arte da arte dos protocolos de medição e verificação. São analisados estudos de caso com as experiências da aplicação de metodologias para cálculo da energia economizada. Da análise dos protocolos atuais e dos diversos aprendizados dos estudos de caso é proposto o modelo.

Uma discussão das teorias e métodos utilizados para se atingir a eficiência energética é o ponto principal abordado neste trabalho. A divisão das seções segue a seguinte filosofia:

Na seção dois é apresentado o estado da arte dos dois principais protocolos de medição e verificação existentes direcionados ao setor industrial como IPMVP (EVO, 2007) e ASHRAE Guideline 2002-14 (2002).

A contribuição dos protocolos de M&V é discutida na seção 3 e é também apresentada sua análise crítica.

A seção quatro discute estudos de caso que evidenciam o distanciamento entre a prática da eficiência energética, os protocolos de M&V e a participação da eficiência energética na gestão como um processo sustentável.

Na seção cinco é proposto o modelo de gestão sustentável da EE visando tornar mais claro o caminho a ser percorrido desde o momento em que se considera a EE uma alternativa de investimento até a apuração dos resultados.

A seção seis traz as conclusões obtidas e as sugestões de desenvolvimentos para trabalhos futuros.

2 ESTUDO DO ESTADO ATUAL DOS PROTOCOLOS DE M&V

A escolha dos protocolos publicados pelo EVO e ASHRAE para análise nesse trabalho deve-se ao fato de serem as referências mais atuais quando se fala de projetos de eficiência energética.

Questionamentos podem ser feitos em relação a não inclusão do IEEE 739 (1995) na análise. A não inclusão deveu-se basicamente ao fato de considerá-lo obsoleto quando comparado aos protocolos de M&V do EVO e ASHRAE. Porém, apesar de ser quase uma década mais antigo que os protocolos de M&V, o IEEE 739 (1995) ainda assim tem valiosas recomendações que são negligenciadas nos protocolos atuais, por isso não pode deixar de ser extensamente citado, mesmo não sendo analisado separadamente.

2.1 Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance

O Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (IPMVP) desenvolvido pela Organização de Avaliação de Eficiência (EVO) é a principal referência em padronização de métodos de quantificação de resultados de investimentos em eficiência energética. Como a economia obtida através dos projetos de eficiência energética não pode ser diretamente medida, isso aumenta o desafio de torná-los competitivos. Assim, investidores e financiadores devem diminuir sua percepção de risco se seu capital estiver sendo aplicado em projetos cujos resultados são monitorados fazendo uso de técnicas internacionalmente aceitas, como o IPMVP.

2.1.1 Elementos do IPMVP

O IPMVP fornece diversas técnicas de avaliação de projetos de EE com diferentes níveis de precisão e custos, seja para uma instalação inteira ou medida de

conservação de energia (MCE) individual apenas. Ele é baseado em seis princípios que são essenciais para sua aplicação (EVO, 2007):

- a. Precisão: As estimativas de economia devem ser as melhores que o orçamento permitir e devem também significar uma pequena parcela da economia gerada.
- b. Abrangência: Os relatórios com as estimativas de economia devem considerar todos os efeitos causados pelo projeto, como por exemplo, o acréscimo na utilização de outra utilidade em função da melhoria global da eficiência de determinado uso final de energia.
- c. Conservadorismo: Quaisquer julgamentos sobre incertezas em quantidades devem ser para subestimar a economia.
- d. Consistência: As estimativas de economia devem ser consistentes e considerar diversos tipos de projetos, diferentes profissionais para qualquer projeto e diferentes períodos do mesmo projeto. Em linhas gerais deve haver repetibilidade nas estimativas.
- e. Relevância: Apenas parâmetros relevantes para o cálculo da economia devem ser medidos como forma de manter os custos de M&V coerentes com a economia gerada.
- f. Transparência: Os detalhes dos relatórios de economia alcançada devem ser acessíveis para que outros profissionais possam checar a consistência das estimativas.

2.1.2 Determinação de escopo e linha de base

A determinação da energia economizada pode ser feita para toda uma instalação industrial ou para apenas um projeto específico em um determinado setor dessa indústria. Assim, a depender de quem são os envolvidos e interessados (En-In) no projeto, a forma de medir para determinar a energia economizada pode ser diferente.

O engenheiro de processo, por exemplo, pode acompanhar a eficiência do processo sob sua responsabilidade pela utilização de medidores locais e calcular a eficiência em unidades de energia por unidade produzida. Essa informação pode não ser relevante para o diretor industrial cuja demanda é conhecer os macro-indicadores da instalação que representam toda unidade sob sua responsabilidade.

Linha de base é o conjunto de dados que deram origem ao modelo de previsão de consumo antes das MCEs. O período para formação da linha de base deve compreender os mais diversos modos de operação da indústria em questão em relação ao consumo de determinada utilidade.

Uma indústria de tinta automotiva, por exemplo, leva 6 horas para moer o pigmento vermelho para produção de um determinado volume de tinta com essa base de cor. Por outro lado, o mesmo moinho leva 20 horas para produzir pigmento amarelo suficiente para produzir o mesmo volume de tinta que precisou de 6 horas no caso do pigmento vermelho. Indústrias de tinta geralmente operam sob forma de campanhas de cor, uma alternativa para diminuir o problema da contaminação entre as cores nos equipamentos. Nesse caso sugerir-se-ia que a linha de base deveria considerar o período de toda a campanha de cores incluindo a maior variedade de produtos e modos de produção possível. Assim, durante a campanha para produção da tinta de pigmento amarelo os valores medidos e verificados deveriam ser comparados com o período de linha de base que contivesse o mesmo período de produção desse pigmento, mas antes de executar o projeto de eficiência energética.

2.1.3 Determinação da energia economizada

Independentemente de qual a abrangência do indicador que está sendo utilizado, a determinação do consumo de energia evitado, ou apenas energia economizada, decorre da comparação dos indicadores medidos com a linha de base determinada previamente seguidos de um ajuste ou efeito iterativo, como demonstrado na Equação 1.

$$EEcon = ELB - EMP \pm A \quad (1)$$

Onde:

- a. EEcon: Energia Economizada;
- b. ELB: Energia hipotética da linha de base;
- c. EMP: Energia medida no período;
- d. A: Ajustes.

“Quaisquer efeitos ocorrendo além da fronteira de medição determinada são chamados efeitos interativos” (EVO, 2007, p. 14, tradução nossa). Esses precisam ser estimados para que tenham influência na determinação da economia obtida.

O período para a determinação da linha de base é fundamentalmente importante, pois é a partir dela que serão comparados os resultados pós implementação do projeto de EE e assim determinada a economia obtida. A Figura 1 a seguir mostra que a energia hipoteticamente despendida segundo critério da linha de base é corrigida segundo o volume de produção, tornando a comparação equânime:

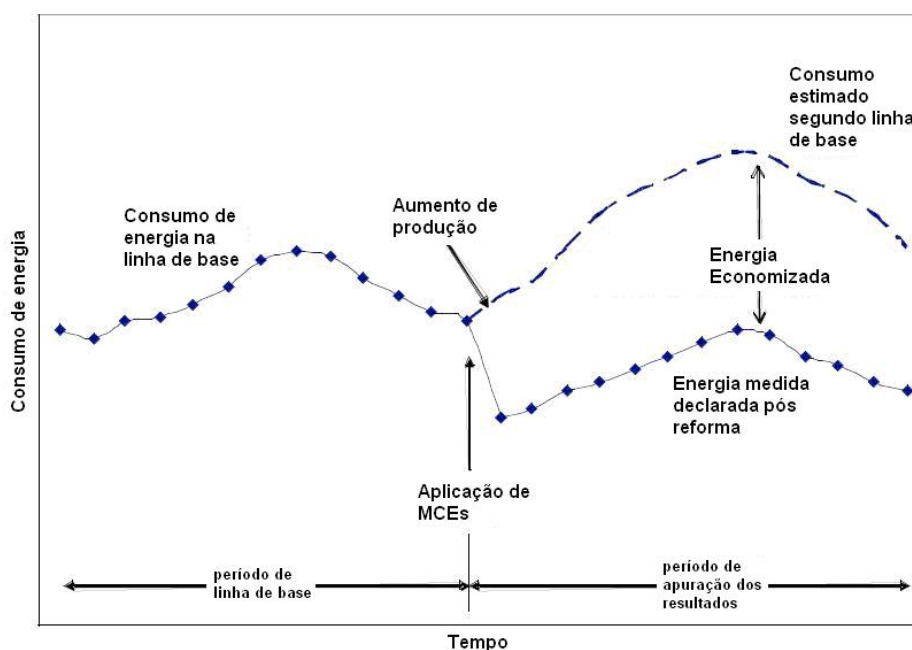


Figura 1 – Exemplo de histórico para determinação de energia economizada
Fonte: EVO (2007), p.12

Apesar de parecer relativamente simples, a determinação da linha de base pode envolver diversas variáveis independentes não lineares que precisam ser modeladas matematicamente para prever a utilização de energia de acordo com as condições do período de medição.

Esses modelos de regressão podem ser desde simples modelos lineares multivariáveis, que são facilmente calculados pelo método dos mínimos quadrados, desde que a distribuição dos dados seja normal, até modelos não lineares com dados não normais que demandam técnicas estatísticas mais sofisticadas, como os Modelos Lineares Generalizados. Assim, faz parte da implementação do IPMVP desenvolver um modelo que faça estimativas de utilização de energia, satisfazendo os modos de

operação, que serão comparadas com os valores reais medidos e assim determinada a energia economizada.

De maneira geral, o IPMVP aponta que engenheiro de eficiência energética deve escolher pela estratégia de medição e verificação mais adequada para o projeto em questão, que pode envolver basicamente quatro opções, como segue na Tabela 1:

Tabela 1 – Sumário das opções de estratégia de medição e verificação

Opção IPMVP	Determinação da Economia de Energia	Exemplo de Aplicação
A. Reforma parcialmente isolada – É definido um parâmetro chave que é medido em campo e define o uso da energia para uma MCE específica. A frequência de medição é definida baseando-se na expectativa de variação desse parâmetro. Alguns parâmetros menos importantes podem ser estimados.	São utilizados cálculos de engenharia com dados das medições pré e pós reforma e valores estimados. Ajustes de situações de rotina e não rotineiras são necessários.	Reforma de sistema de iluminação;
B. Reforma isolada – Todos os parâmetros ou variáveis independentes que afetam o consumo devem ser medidos. A frequência de medição é definida baseando-se na expectativa de variação desse parâmetro.	São utilizados cálculos de engenharia com dados das medições pré e pós reforma e valores estimados. Ajustes de situações de rotina e não rotineiras são necessários.	Instalação de inversores de frequência em motores;
C. Medição de toda instalação – A Energia consumida é medida no nível de toda a instalação ou unidade (Ex: Medidor de Energia concessionária). “A opção C é recomendada para projetos com grande economia estimada se comparada com variações de consumo aleatórias ou inexplicadas que ocorrem no nível de toda a instalação. Tipicamente a economia deve exceder 10% do consumo da linha de base” (EVO, 2007, p. 29, tradução nossa).	A economia de energia é determinada a partir do medidor principal ou faturas de energia comparando o período de tarifação ou medição com o período pré reforma através de simples comparação ou por um modelo de regressão, por exemplo.	Programas de EE multifacetados.
D. Simulação calibrada – As medições são úteis para calibrar um modelo matemático que deverá representar o consumo de energia em toda a instalação ou subinstalação. Esta opção requer grande conhecimento em simulação calibrada e demanda ser verificado constantemente.	A economia de energia é determinada a partir de um simulador do uso da energia em toda a instalação ou subinstalação calibrado com medições disponíveis.	Programas de EE multifacetados onde não há dados disponíveis para determinação de uma linha de base.

Fonte: Adaptado de IPMVP (2007)

2.2 Medindo a Energia e Demanda Economizadas – ASHRAE 14 (2002)

A ausência de procedimentos padronizados para o cálculo da energia economizada foi preenchida com a publicação em 2002 do guia ASHRAE 14 (2002). “Quando propriamente aplicado, é esperado que o guia ASHRAE 14-2002 forneça segurança adequada para o pagamento de serviços ao permitir métodos bem especificados de medição que forneçam cálculos precisos da energia economizada” (Haberl, Culp e Claridge, 2005, p. 1, tradução nossa).

ASHRAE é a sigla em inglês para Sociedade Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado. Fundada em 1894, a ASHRAE contava em 2009 com cerca de 51000 membros e é responsável pela publicação de diversas revistas científicas e padrões técnicos (ASHRAE, 2009).

O ASHRAE 14-2002 contém os requisitos necessários a serem atendidos para assegurar um desempenho mínimo aceitável na medição e cálculo de energia e demanda economizadas.

2.2.1 Escopo de aplicação e utilização

Esse guia é recomendado e tem sido aplicado com sucesso em edificações residenciais, comerciais e industriais e fornece elementos para medição de dados pré e pós reforma de modo a quantificar os elementos determinantes no faturamento de energia (kW, kWh, BTU, etc) para todas as formas de energia (eletricidade, gás, petróleo, vapor, água gelada, água, etc).

O ASHRAE 14, por outro lado, não contém detalhes de procedimentos de amostragem, normas de medição e cargas industriais específicas. A metodologia básica de aplicação do ASHRAE 14-2002 é bastante semelhante ao IPMVP (2007). De fato, por ter sido publicado cinco anos depois, boa parte das informações contidas no IPMVP são referenciadas ao ASHRAE 14-2002.

Seja através da simples comparação de faturas de energia pré e pós reforma ou pela utilização de indicadores simplesmente, o cálculo não fundamentado da energia economizada praticamente deixa de ser uma opção com a disponibilização de

padrões compreensivos uma vez que não diferenciam os impactos das MCEs de outros fatores como ocupação ou mesmo alterações climáticas.

Como mencionado anteriormente, a energia economizada não pode ser medida, assim o cálculo da energia economizada requer uma projeção de quanto seria o consumo de energia caso a MCE não tivesse sido executada. O resultado da subtração dessa projeção e da energia realmente consumida com o ajuste necessário é a energia economizada, conforme Equação 1.

Um dos objetivos da conformidade ao ASHRAE 14-2002 é a elaboração de um planejamento de execução do projeto de eficiência energética. Esse planejamento trata da gestão das informações usadas para tomada de decisão e posterior contabilização das economias atingidas pela aplicação das MCEs.

Assim, a aplicação desse guia atinge desde projetos que envolvam modificações de instalação até políticas educacionais que melhorem os hábitos de consumo, desde que seja possível isolar as contribuições das mesmas.

Um dos parâmetros críticos levantados é a quantificação das incertezas contidas nas estimativas de energia economizada. “Por exemplo, a convicção nos dados pode ser menos importante onde o contrato de serviços disser que a energia economizada é paga apenas até que os custos definidos sejam recuperados ao invés de por um período fixo de tempo” (ASHRAE 14, 2002, p. 6, tradução nossa). A estimativa de retorno dos investimentos, para estar em conformidade com o ASHRAE 14-2002, deve considerar a incerteza no cálculo da energia economizada. Essa consideração deve eliminar projetos de baixo retorno, onde o risco é maior para o investidor.

Outra ponderação que o engenheiro de EE deve fazer é em relação à frequência de atualização do cálculo da energia economizada. Uma vez que um projeto ou MCE foi executado em uma instalação pelos seus donos, deve ser menos importante para os donos ter relatórios detalhados da energia economizada em curtos e regulares espaços de tempo do que quando se trata de uma ESCO, cujo faturamento dependerá da análise e aceitação desse relatório. Um dos fatores que costuma preocupar os interessados no relatório da energia economizada é a utilização de faturas de concessionárias de energia. A demora e o não sincronismo na emissão dessas faturas acarreta em atrasos para a elaboração de relatórios completos.

2.2.2 Abordagens para determinação da energia/ demanda economizada

O ASHRAE 14-2002 define três abordagens que podem ser tomadas para implementar a M&V em projetos de eficiência energética e estabelece nela quais são os elementos comuns das três abordagens.

2.2.2.1 Abordagem para toda a instalação

A abordagem para toda a instalação é útil quando a medição da grandeza energética de interesse é central para o prédio, instalação ou grupo de instalações/prédios. Usualmente se faz uso das faturas do insumo energético para controlar o consumo e demanda.

Há duas situações previstas para a abordagem de toda a instalação segundo o ASHRAE 14-2002: A abordagem prescritiva e a abordagem de desempenho. A prescritiva não considera nos resultados de energia economizada as incertezas inerentes ao próprio processo de medição e verificação. Já a abordagem de desempenho, como diz o próprio nome, é usada em contratos de desempenho principalmente envolvendo ESCOs. Assim, há requisitos específicos em relação às incertezas e nível de confiança das estimativas.

2.2.2.2 Abordagem para instalação reformada

Uma abordagem para instalação reformada é útil quando a medição da grandeza energética de interesse é seccionada por prédio ou por instalação. Usualmente se faz uso de medidores que isolam essas instalações. É possível ainda fazer uso das medições de uma única instalação e estimar o consumo de demais instalações iguais.

2.2.2.3 Simulação calibrada para toda a instalação

A simulação calibrada para toda a instalação é uma opção quando instalações complexas sofrem diversas modificações e MCEs concorrentes.

2.2.3 Elementos para determinação da energia economizada

De acordo com (ASHRAE 14, 2002) o processo é iniciado pela seleção das variáveis independentes que influenciam o consumo de energia da instalação em questão. Essa verificação é feita antes de qualquer projeto ou MCE e seu objetivo é determinar se há a correlação do consumo de energia com dados de operação da instalação.

A determinação das variáveis que influenciam o consumo de energia deve começar pela execução de uma seção de geração de idéias com as pessoas envolvidas no processo. Ao final dessa seção é esperado que haja consenso em torno de um número resumido de variáveis independentes que substancialmente afetam o consumo de energia. “Todas as variáveis deveriam ser testadas usando parâmetros como o *t-test* para determinar quais variáveis são substantivas” (ASHRAE 14, 2002, p.11, tradução nossa).

O sucesso da determinação da energia economizada depende também da seleção do período de linha de base e período de medição pós reforma. O período imediatamente anterior deve ser preferencialmente escolhido tal que a instalação seja mais representativa em comparação ao período pós reforma. A incerteza do modelo de estimativa de consumo será menor se forem considerados todos os modos de operação como verão, inverno, tipos de produtos, taxa de ocupação da instalação. A escolha do período de operação envolve cautela também em não representar um período mais de uma vez, tal que seja criado um modelo enviesado.

Certos tipos de projetos ou MCEs têm menor necessidade de monitoramento, como é o caso dos projetos de iluminação. Para esses projetos é possível determinar períodos de medição pré e pós reforma mais curtos.

Uma vez selecionado o período de linha de base, é necessário documentar essas condições de forma que seja possível rastrear mudanças que precisem ser incorporadas ao modelo ou mesmo invalidar o modelo da linha de base. De acordo com (ASHRAE 14, 2002) é necessário documentar itens como:

- a. Padrão de ocupação, densidade, horário, e tipos de ocupação;
- b. Quantidade de dias em operação em determinado modo de operação;
- c. Cronogramas de operação, pontos chave de ajuste de equipamentos consumidores de energia;
- d. Operações não rotineiras;

- e. Detalhes de partes de equipamentos com consumo significativo de energia;
- f. Dados de placa de equipamentos, como por exemplo, motores, trocadores de calor, etc.

O registro através de fotos pode ser útil, pois elas capturam detalhes que podem ter sido ignorados em relatórios descritivos, como por exemplo, limpeza de uma colméia de uma torre de resfriamento, ou estado de conservação dos mancais de um motor (se há vazamentos de óleo), etc.

Dentre as condições que precisam ser registradas estão os erros padrão dos equipamentos de medição utilizados para determinação do consumo de energia. Sejam equipamentos existentes ou recém adquiridos em função das MCEs, os erros padrão desses equipamentos serão utilizados tanto na determinação da incerteza do modelo de estimativa de consumo como na medição dos novos consumos no período pós reforma.

Há também alguns dados que podem vir de terceiros, como por exemplo, dados meteorológicos. O histórico de temperatura média por cidades realizado por agências governamentais contém erros em função da localização dos sensores versus a localização da unidade em consideração. Nessa situação pode ser feito o monitoramento local através de equipamentos de medição próprios. Uma alternativa é estimar o desvio padrão dessas medidas pela comparação do dado disponibilizado pela agência versus dados de temperatura no local da instalação medidos para esse fim. O ASHRAE 14-2002 refere-se a entidades como o National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) que têm dados meteorológicos confiáveis dos Estados Unidos e Canadá. No Brasil esses dados estão disponíveis no banco de dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) disponibilizado no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE, 2009).

Determinadas utilidades como eletricidade ou gás, por exemplo, podem ter a previsão de demanda contratada ou a aquisição de uma quantidade mínima *take or pay*. Dentro do contexto energético brasileiro a Resolução N.º 456 da ANEEL (ANEEL, 2000), que estabelece as condições gerais de fornecimento de energia elétrica, prevê que os consumidores sob determinadas condições deverão ter disponibilizado pelas concessionárias uma demanda em kW que deverá ser integralmente paga, seja ou não utilizada, durante o período de faturamento. A existência de contratos *take or pay* é igualmente relevante. De acordo com Silva, (2005) nesse tipo de contrato o

comprador do gás, por exemplo, está obrigado a receber/retirar um determinado volume mínimo de gás junto ao vendedor, pagando o preço acordado pelo volume mínimo ou, caso não possa retirar o volume mínimo acordado, apenas pagar o preço ajustado. Assim, seja a demanda contratada ou a existência de contratos *take or pay*, ambos precisam ser contemplados na determinação e documentação da linha de base segundo o ASHRAE 14-2002.

A forma de fazer os cálculos pode interferir na determinação da energia economizada. Nesse sentido a memória de cálculo dos indicadores, demandas, consumos consolidados precisam ser preservadas para que as comparações pré e pós reforma tenham sentido. Para que essas comparações sejam possíveis é necessário ainda que os períodos de linha de base e pós reforma sejam calculados de acordo com o mesmo conjunto de condições.

Em situações onde haja alteração da instalação ou das condições consideradas na linha de base, é necessário fazer ajustes da linha de base para que essa reflita como seria o consumo hipotético se não fossem executadas as MCEs. Essas alterações podem ser provenientes de renovações, expansões, mudanças na forma de utilização, adição de novos equipamentos, etc. Mesmo a adição gradual de equipamentos com consumo energético inicialmente não significativo deve ser considerada.

É possível também ocorrer alterações temporárias nas instalações decorrentes de condições específicas de operação, como desligamentos pela concessionária, descontinuidade de operação de equipamentos, etc. Nessas situações o ASHRAE 14 (2002) recomenda que o algoritmo de cálculo da energia economizada seja substituído por cálculos e/ou medições pontuais que considerem essas peculiaridades. A incerteza contida nesses cálculos ou medições pontuais precisa ser computada para garantir a aderência a esse guia.

Eventualmente o responsável pelo cálculo da energia economizada vai se deparar com a falta de dados em um período específico. Essa falta pode ocorrer por falha das pessoas em fornecê-los, falhas em equipamentos em medi-los, ou mesmo quando um dado se mostra pouco confiável ao ser analisado em comparação com o histórico. O ASHRAE 14 (2002) recomenda que não sejam utilizados dados de outros períodos para determinação da energia economizada naquele período em que houve a falta de dados. Por outro lado sugere que sejam utilizadas técnicas de engenharia estatisticamente válidas baseado em pelo menos 12 meses de dados medidos para

fornecer a estimativa tomando o cuidado ainda de documentar no relatório o nível de incerteza incluído decorrente da ausência daquele dado em particular.

As hipóteses assumidas e inevitáveis erros de medição introduzem um erro aleatório e um erro sistemático no cálculo da energia economizada em qualquer das abordagens utilizadas; por isso o ASHRAE 14 estabelece uma série de técnicas para a consideração dos erros das mais diversas fontes. Mais informações podem ser encontradas no Anexo B do ASHRAE 14 (2002).

2.2.4 Requisitos para conformidade com o ASHRAE 14-2002

Estar em conformidade com o guia ASHRAE 14-2002 pode ser interessante tanto para uma empresa que deseja ter maior credibilidade nos resultados declarados de um projeto de eficiência energética, quanto para uma ESCO que precisa comprovar a economia para ter seu investimento remunerado. Dentre os requisitos mínimos para conformidade são previstas na Figura 2 as etapas necessárias segundo ASHRAE 14 (2002) e detalhadas a seguir:

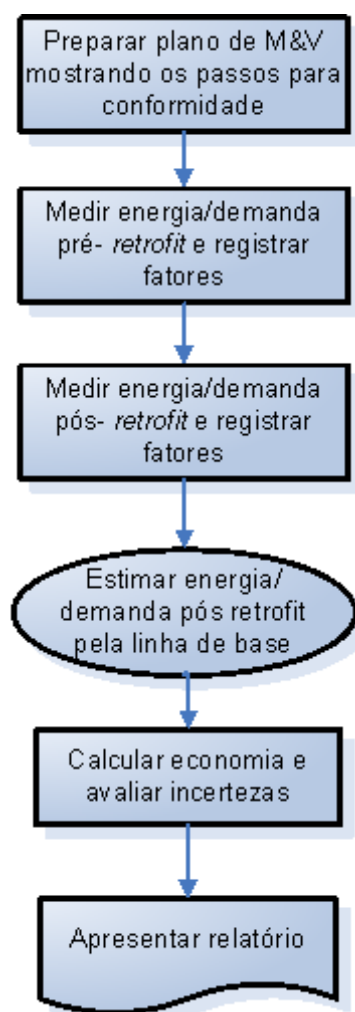


Figura 2 – Abordagem geral dos requisitos mínimos de conformidade
Fonte: ASHRAE 14 (2002), p. 7, tradução nossa

- a. Preparar um plano de medição e verificação que deve contemplar, entre outros requisitos, passos para conformidade, os procedimentos de M&V e o custo de implementação de M&V pós reforma;
- b. Fazer medições de energia/demanda antes da reforma e registrar os fatores que norteiam a demanda utilizada e consumo de energia (linha de base);
- c. Fazer medições de energia/demanda após a reforma e registrar os fatores que norteiam a demanda utilizada e consumo de energia;
- d. Estimar segundo modelo matemático o uso da demanda e consumo de energia pós reforma com o conjunto de condições definidas na linha de base;
- e. Subtrair a demanda e consumo reais dos valores estimados. Avaliar a incerteza da estimativa e apresentar relatório dos resultados.

Seja qual for a escolha da metodologia prevista nesse guia, para haver conformidade “[...] o nível de incerteza não deverá ser superior a 50% da economia

anual informada (a um nível de 68% de confiança)” (ASHRAE 14, 2002, p.7, tradução nossa).

2.2.5 Plano de medição e verificação

O plano de medição e verificação deverá responder o nível de incerteza desejado e os custos de M&V necessários para atingi-lo. Além disso, deve contemplar qual estratégia de abordagem será escolhida observada a característica do projeto em questão. Seu desenvolvimento deve acontecer antes da implementação do projeto ou MCEs. Segundo ASHRAE 14 (2002) o plano de M&V deve documentar:

I – A abordagem de medição e conformidade:

- a. Dados do período da linha de base que incluam;
 - Demanda e consumo de energia;
 - Todas variáveis independentes selecionadas para o uso nas análises assim como as justificativas para exclusão das variáveis não selecionadas;
- b. Informações como: taxas de ocupação, densidade, horário e tipos, quantidade de dias em operação, cronogramas de operação, pontos chave de ajuste de equipamentos, operações não rotineiras, panes de equipamentos, dados de placa de equipamentos, etc.

II – Algoritmo para determinação da energia economizada que mostre:

- a. Metodologia a ser usada para as condições esperadas de operação pós reforma;
- b. Meios para lidar com anormalidades que foram excluídas ou ajustadas no desenvolvimento do modelo para a linha de base.

III – Procedimento de medição que contenha (ASHRAE14 2002 apud Lyberg 1987):

- a. Nomes dos pontos de medição;
- b. Tipo de medição;
- c. Descrição do instrumento de medição;
- d. Método de instalação;

- e. Localização com descrição das condições adequadas de instalação do instrumento;
- f. Variação esperada dos parâmetros e incerteza esperada;
- g. Método e rigor da calibração;
- h. Método e rigor da verificação do sistema de medição e validação;
- i. Informações a serem registradas como especificações, data de instalação, registros de calibração e manutenção;
- j. Nível mínimo de performance esperada do instrumento se houver, por exemplo, perda da precisão;
- k. Períodos de recalibração;
- l. Métodos alternativos para obtenção do dado se o instrumento estiver fora de operação;
- m. Métodos aceitáveis de remediação de erro;
- n. Requisitos aceitáveis de manutenção aplicáveis.

IV – Procedimentos de controle de qualidade onde é sugerido que contemplem:

- a. Acesso para modificação de dados deve ser restrito a pessoas autorizadas e treinadas;
- b. Uso de software para verificar a precisão e razoabilidade de um dado.
- c. Verificação periódica dos dados e cálculos por pessoas não envolvidas na produção e revisão dos resultados;
- d. Backup e teste regular dos dados eletrônicos.

V – Requisitos específicos da Tabela 2.

VI – Frequência e formato dos relatórios de energia economizada.

Tabela 2 – Requisitos específicos do plano de M&V segundo o tipo de abordagem selecionada

	Plano de M&V deve descrever:	Tipo de abordagem			
		Toda instalação		Instalação reformada	Simulação calibrada
		Prescritiva	Desempenho		
1	Parâmetros do modelo da linha de base, limites de aplicação e	Sim	Sim	Sim	Não

	coeficiente de variação do erro médio quadrático.				
2	Nome e versão do software usado na simulação	Não	Não	Não	Sim
3	Coeficiente de variação do erro médio quadrático e erro médio do erro sistemático do modelo de simulação calibrada	Não	Não	Não	Sim
4	Eficiência na medição do isolamento da instalação reformada, interação entre as instalações, e exclusões	Não	Não	Sim	Não
5	Determinação do erro sistemático no cálculo da energia economizada	Sim	Sim	Sim	Não
6	Nível esperado de incerteza no cálculo da energia economizada	Não	Sim	Sim	Sim
7	Possíveis impactos de fontes não quantificáveis de erros	Não	Sim	Sim	Sim
8	Metodologia a ser utilizada para calcular o nível de incerteza nos futuros relatórios de energia economizada	Não	Sim	Sim	Sim

Fonte: ASHRAE 14 (2002), p.19, tradução nossa

Dentro do plano de M&V é necessário definir qual tipo de abordagem para o cálculo da energia economizada será considerado para garantir a conformidade com o guia ASHRAE 14-2002. Essa escolha não é uma decisão simples, pois envolve o custo que se está disposto a pagar para obter precisão nos dados. Alguns custos de medição são usualmente compartilhados com outras áreas como, por exemplo, as áreas de utilidades, manutenção e operação. Unidades automatizadas apresentam grande oportunidade de alavancagem pelo uso dos instrumentos do sistema de automação.

O custo de M&V deve ser apenas uma fração do da economia pela otimização do consumo de energia. Instrumentos, pessoas para operá-los e engenheiros para fazer os cálculos agregam custo para o processo de M&V, por isso projetar um

processo de medição simples para atingir a meta de incerteza pode minimizar custos (ASHRAE 14, 2002).

2.2.6 Seleção da abordagem para determinação da energia economizada

A meta de incerteza e a complexidade das instalações se destacam como fatores de maior relevância na escolha do tipo de abordagem para o cálculo da energia economizada.

A abordagem para toda a instalação é mais adequada quando a estratégia de medição fará uso de medidores centrais como os das concessionárias de eletricidade, gás e água. Essa estratégia reduz custos quando não são necessários submedidores, considerando que a responsabilidade de manutenção e calibração do instrumento principal é da concessionária. Por outro lado, há um aumento na complexidade do modelo matemático que descreve o consumo. Isso porque ele deverá ser capaz de prever o consumo segundo um número maior de variáveis independentes e conseqüentemente deve precisar de mais dados para fazer estimativas com precisão adequada. Isso pode significar maior tempo de medição pré reforma para a elaboração do modelo de linha de base.

Em instalações onde há uma confiabilidade na disponibilização de informações de forma contínua e completa, e a expectativa de energia economizada é superior a 10%, é possível seguir a abordagem prescritiva para toda a instalação. Isso significa economizar recursos para cálculos de incertezas no período pós reforma. Porém, nas situações onde não há a possibilidade de garantir a condição máxima aceitável de desvio para a abordagem prescritiva, recomenda-se fazer uso da abordagem de desempenho para toda a instalação. O fluxograma da Figura 3 mostra o processo de decisão.

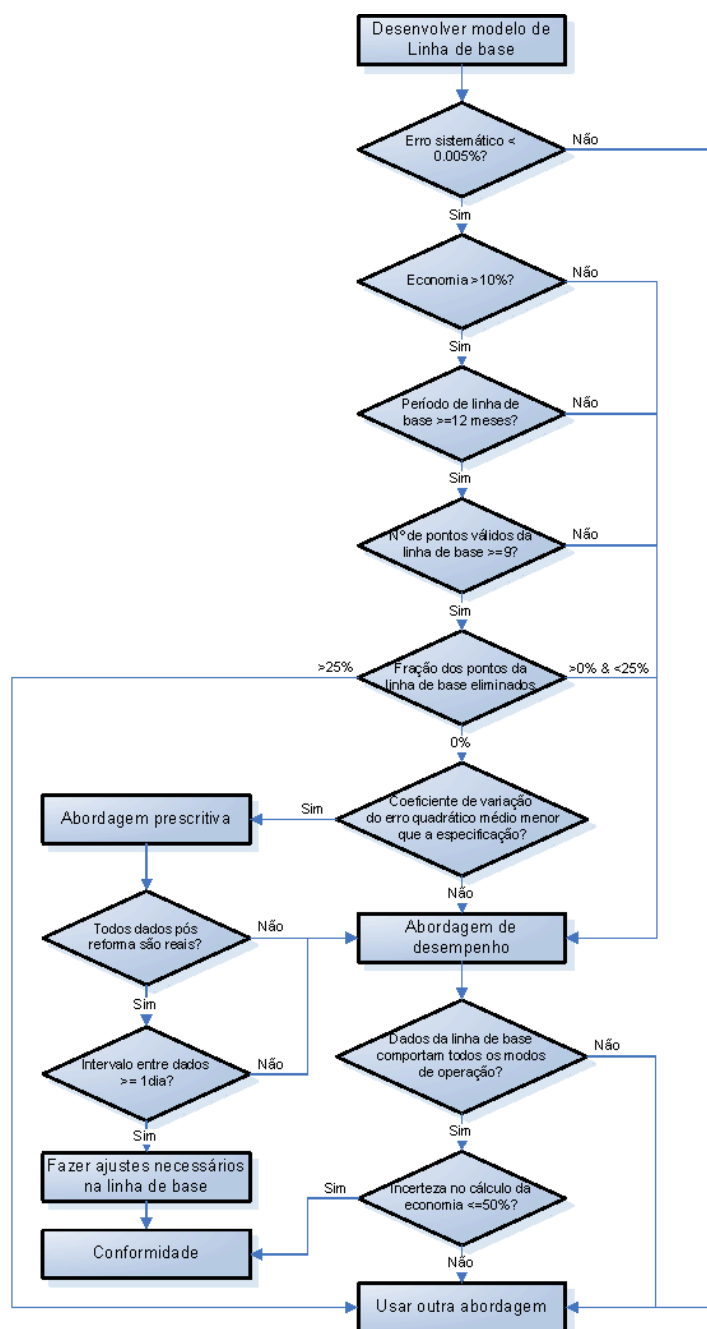


Figura 3 – Fluxograma do processo de conformidade da abordagem para toda instalação
 Fonte: ASHRAE 14 (2002), p.22, tradução nossa

A primeira alternativa à abordagem de toda instalação é a abordagem para instalação reformada. Ela é recomendada quando a abordagem para toda a instalação não é adequada e a determinação da energia economizada pode ser feita por medições tomadas em um ponto específico de um equipamento ou subsistema. A existência de novos projetos ou reformas não relacionadas à MCE responsável pela economia esperada pode inviabilizar a utilização da abordagem de toda a instalação

assim como economias relativamente pequenas em relação a toda a instalação (<10%).

São candidatos comuns, por exemplo, a abordagem de instalação reformada sistemas centrais de água gelada, caldeiras, ar condicionado, centrais de bombeamento, etc. O fluxograma da Figura 4 mostra o processo de conformidade para abordagem de instalação reformada.

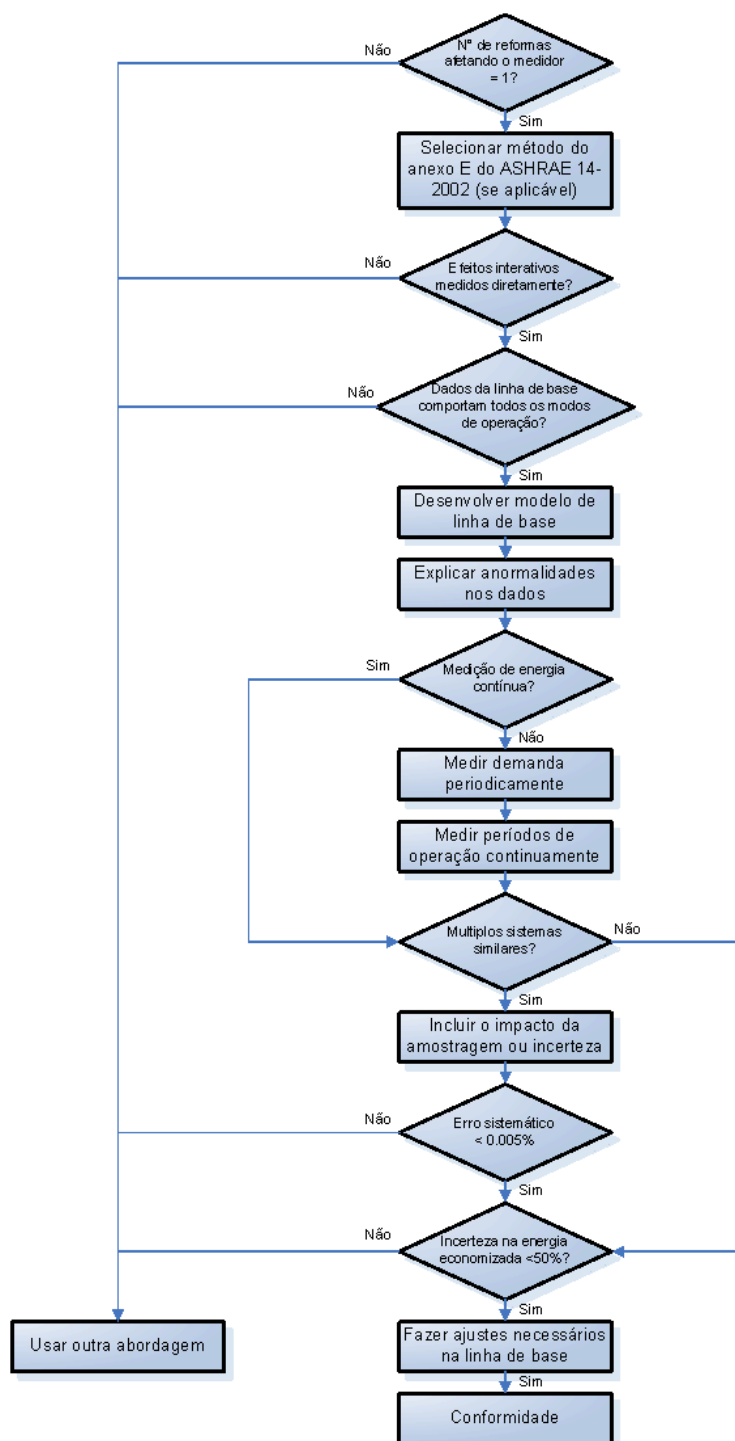


Figura 4 – Fluxograma do processo de conformidade para abordagem de instalação reformada
Fonte: ASHRAE 14 (2002), p.26, tradução nossa

A última e mais complexa abordagem de uma instalação para determinação da energia economizada é a simulação calibrada. A simulação calibrada baseia-se no uso de softwares que simulam a utilização da energia nos vários sistemas de uma instalação industrial ou comercial. Como o nome já sugere, o sistema criado no software para simular a instalação precisa ser constantemente calibrado para que suas estimativas traduzam o real comportamento da instalação. De acordo com ASHRAE 14 (2002) a técnica de simulação calibrada é adequada quando as seguintes condições estão presentes:

- a. Qualquer um dos dados pré ou pós reforma não estão disponíveis, como por exemplo, no caso de uma instalação nova;
- b. A energia economizada não pode ser facilmente determinada usando dados pré e pós reforma, por exemplo, se os dados pré reforma não consideraram variações significativas de temperatura média durante o ano;
- c. As interações entre sistemas não são mostradas através de medidores, como por exemplo, uma otimização da iluminação traz benefícios para o sistema de ar condicionado;
- d. Apenas dados de toda instalação estão disponíveis, mas há a necessidade de determinar a contribuição de cada sistema reformado no caso, por exemplo, de múltiplos projetos ou MCEs associadas a diferentes centros de custo ou ESCOs responsáveis;
- e. Múltiplos ajustes na linha de base são necessários tal que se torna impraticável adequar o modelo de estimativa de consumo.

Uma das principais características da simulação calibrada é a necessidade de recursos especializados nesse tipo de simulação. Essa necessidade impõe uma severa restrição ao uso dessa técnica, pois agrega o custo com profissionais especializados e o custo de software, que usualmente são dispendiosos. O fluxograma da Figura 5 mostra o processo de conformidade para abordagem de simulação calibrada.

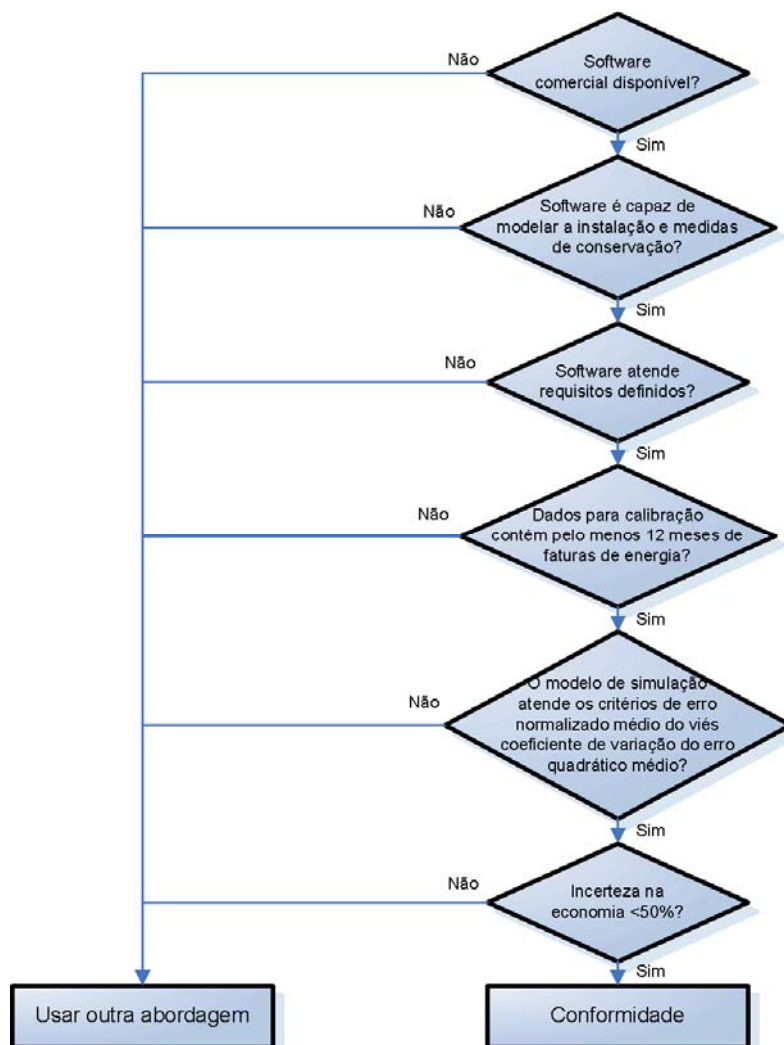


Figura 5 – Fluxograma do processo de conformidade para abordagem de simulação calibrada
Fonte: ASHRAE 14 (2002), p.33, tradução nossa

3. EE vinculada ao uso de protocolos de M&V

O ato de gerir a eficiência energética, além de estar relacionado com a política ambiental de uma organização, está cada vez mais conectado com a competitividade industrial e comercial. As organizações empresariais descobriram há muito tempo que gerir produção e vendas não é mais suficiente para se manter competitivo.

A indústria automotiva é um exemplo de negócio que foi responsável pelo que alguns autores chamam de a terceira revolução industrial, ou fordismo, iniciado por volta de 1914. A obsessão por produzir automóveis baratos fez Henry Ford quebrar sólidos paradigmas, tal que conceitos como a padronização e simplificação fossem capazes de baratear os custos de produção. O ganho de escala fez com que fosse possível produzir milhões de automóveis por ano, algo impensável para a época. Essa revolução criada por Henry Ford teve seu ápice no pós segunda guerra.

Mais recentemente no final da segunda metade do século 20, a indústria de automóveis japonesa introduziu o sistema de produção enxuta ou sistema Toyota de produção cuja base de sustentação é a eliminação do desperdício e foco na qualidade. Esse sistema contribuiu para que a Toyota se tornasse a maior fabricante de automóveis do mundo (Naughton, 2005).

A duas revoluções têm em comum a quebra de paradigmas e o objetivo comum de produzir mais com menos. No mais recente exemplo da Toyota passou-se a gerir custos e processos antes negligenciados.

A gestão da eficiência energética hoje passa pelo mesmo processo que a gestão de estoques e fornecedores passou na indústria de manufatura. Dada a maior necessidade de gestão e a disponibilidade de computadores mais rápidos e baratos, as organizações empresariais passaram a contar com sistemas de ERP (Enterprise Resource Planning) ou SIGE (Sistemas Integrados de Gestão Empresarial, no Brasil). Os SIGE são ferramentas computacionais que auxiliam na padronização de controles e disponibilização de dados.

Os protocolos de M&V, assim como os SIGE, são ferramentas para auxiliar as organizações a gerir o custo de determinado insumo ou processo, no caso particular, a energia.

Vinea e Hamrin (2008) discutem sobre a utilização de certificados de eficiência energética como uma ferramenta que pode ser utilizada por órgãos reguladores para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Porém, como lembrado por eles:

Infelizmente, o guarda chuva de programas de gases de efeito estufa e programas correlatos por si só não estimulam a eficiência energética ou o uso de energias renováveis. Uma solução para superar alguns destes problemas é instituir uma consistente metodologia de medição e verificação de eficiência energética junto a um sistema de monitoramento confiável que proteja contra a dupla contagem e identifique as medidas que atenderam os critérios. (Vinea e Hamrin, 2008, p.467, tradução nossa).

Dessa forma, seja para a própria gestão de insumos ou mesmo para o atendimento de metas ambientais como a redução de emissões de gases de efeito estufa, os protocolos de M&V entram na agenda de políticas e projetos de eficiência energética com importância ímpar pela sua capacidade dar credibilidade aos números mostrados em estudos. Os projetos de redução de emissões de gases do efeito estufa podem também fazer uso do protocolo de contabilização de projetos de redução de gases do efeito estufa: Greenhouse Gas Protocol for Project Accounting (2005).

3.1 A Contribuição dos Protocolos de M&V

Em um estudo conduzido por Groot, Verhoef e Nijkamp (2001) em 135 indústrias na Holanda, envolvendo os setores químico, de alimentos, siderurgia, papéis, entre outros, e em sua maioria indústrias multinacionais, foram levantadas as principais barreiras na tomada de decisão para execução de um projeto de eficiência energética. De acordo com esse estudo, a barreira mais importante para essas empresas decidirem por esse tipo de investimento é a existência de outras oportunidades de investimento consideradas mais promissoras ou importantes. Ciccone et al. (2007) alerta sobre a necessidade de analisar os projetos de eficiência energética sob parâmetros equivalentes a qualquer outro projeto de expansão, aquisição, fusão, etc.

Nesse contexto os protocolos de M&V padronizam a forma de calcular a energia economizada. Eles conferem credibilidade na apuração dos resultados

tornando possível o real acompanhamento do desempenho das MCEs e dão mais segurança para o investidor de que o seu investimento será remunerado.

A primeira contribuição dos protocolos de M&V é focar na gestão, sustentabilidade e confiabilidade da economia atingida. Até então, a maior parte das publicações estava focada nas MCEs negligenciando a perpetuidade das melhorias obtidas através dos projetos de EE. O padrão IEEE 739 (1995), mais conhecido como livro de bronze da série *color books* do IEEE, é um exemplo interessante dessa mudança. Sua primeira edição publicada em 1984 era chamada de “Práticas recomendadas para conservação de energia e planejamento efetivo de custo em unidades industriais”. Em sua reedição no ano de 1995, o nome da publicação foi alterado para “Práticas recomendadas para gestão de energia em unidades industriais e comerciais”. Essa sutil diferença no nome se deve ao fato de que naquele particular momento essa importante publicação passou a considerar a gestão de várias MCEs como um processo único e não produto de iniciativas isoladas não coordenadas. Apesar disso, o IEEE 739 (1995) ficou defasado em relação aos protocolos de M&V IPMVP (2007) e ASHRAE 14 (2002) justamente porque é carente de informações sobre como garantir que a energia está sendo realmente economizada.

3.2 A Utilização de Protocolos de M&V para Tornar os Projetos de EE Atrativos

Os protocolos de M&V têm em comum o objetivo de propor uma metodologia para medir confiavelmente a energia economizada em uma instalação. Mas como essa medida não pode ser feita diretamente, uma série de considerações devem ser feitas. Entre elas convém citar:

3.2.1 Obtenção de estimativas através de dados limitados

Essa é uma significativa mudança proporcionada por esses protocolos. São inúmeros os exemplos de guias e padrões que trabalham com dados que não são tangíveis de serem obtidos na prática. O Mark IV, software desenvolvido por

pesquisadores da Universidade Federal de Itajubá, é um exemplo disso. Esse software faz estimativas de economia pela substituição de motores e, conforme apontado por (Ramos, 2009), é solicitado ao usuário fornecer qual é a eficiência do motor em diversos pontos de operação quando essas informações só seriam obtidas em bancada de laboratório ou se o motor fosse completamente novo e o usuário tivesse em mãos as curvas de desempenho desse motor. Na prática, se o motor é novo, dificilmente precisará ser substituído e retirá-lo de operação para levá-lo para a bancada é ainda mais impensável, sob a perspectiva da continuidade de operação.

3.2.2 Estratificação

Tanto o IPMVP (2007) quanto o ASHRAE 14 (2002) têm em comum a estratificação dos tipos de instalação e projetos e /ou MCEs. O IPMVP (2007) é dividido em 4 estratégias de implementação: reforma parcialmente isolada, reforma isolada, medição de toda instalação e simulação calibrada. Essas se assemelham às 3 abordagens do ASHRAE 14 (2002): abordagem para toda instalação, abordagem para instalação reformada e abordagem de simulação calibrada. A Tabela 3 mostra uma comparação entre as estratégias dos dois protocolos:

Tabela 3 – Comparação da estratificação do IPMVP e ASHRAE 14 (2002)

Protocolo	IPMVP	ASHRAE 14 -2002	Comparação
Estratificação	Reforma parcialmente isolada	Abordagem para instalação reformada	As estratégias previstas no IPMVP são menos rigorosas e detalhadas que a abordagem do ASHRAE 14-2002. O IPMVP prevê, por exemplo, que para situações onde os custos de M&V sejam maiores que o retorno, a estimativa possa ser feita a partir de parâmetros chave.
	Reforma isolada		
	Medição de toda instalação	Abordagem para toda instalação: Prescritiva e Desempenho	São modelos parecidos. A estratégia prevista no IPMVP é menos rigorosa e detalhada, pois permite, por exemplo, que sejam feitas comparações diretas simples sem modelos de regressão.

	Simulação calibrada	Abordagem de simulação calibrada	Modelos parecidos, mas sua utilização não é bem exemplificada. O ASHRAE 14-2002 não tem exemplo da aplicação dessa abordagem e o IPMVP tem um exemplo simplificado da sua utilização.
--	---------------------	----------------------------------	---

Fonte: Elaboração própria

3.3 Pontos Fortes e Deficiências dos Protocolos de M&V Atuais

Como já mencionado anteriormente os protocolos de M&V trazem como benefício principal a comprobabilidade da energia economizada por medidas ou projetos de conservação de energia. Atribuem ainda credibilidade internacional por terem sido desenvolvidos por pesquisadores de todo o mundo com reconhecida experiência no campo da eficiência energética.

O ASHRAE 14-2002 é um guia bastante sofisticado para determinação da energia economizada. Esse guia foi criado por um comitê de membros da ASHRAE representando seus futuros usuários. De acordo com Haberl, Culp e Claridge (2005) cada seção dessa diretriz foi atribuída a um autor primário e a um autor secundário. O autor primário ficou responsável pelo desenvolvimento de uma determinada seção; uma vez pronta, foi repassada para o autor secundário responsável pela coordenação do processo de revisão e edição. Quaisquer discrepâncias entre os autores eram decididas por todo o comitê.

A metodologia de desenvolvimento desse guia permitiu que os temas ali tratados fossem consideravelmente detalhados e justificados. Os fluxogramas para cada abordagem sugerida facilitam o entendimento do guia. Os exemplos no Anexo C desse guia são completos e suficientes para o entendimento de quase todas as abordagens utilizadas assim como seu Anexo B fornece detalhadas informações sobre o tratamento do erro, um dos seus pontos fortes.

O primeiro ponto de melhoria do ASHRAE 14-2002 é que há um aparente isolamento entre os capítulos. Apesar de haver referência entre capítulos, não há um

roteiro sobre como usar o guia que conta com informações repetidas com diversos níveis de detalhes.

As informações são organizadas de tal forma que o engenheiro de eficiência energética pode se educar sobre o tema, porém ele deverá ter dificuldades em entender por onde começar a utilização do guia em seu projeto ou MCE, ou até mesmo em escolher qual abordagem utilizar.

A abordagem de exemplos para simulação calibrada é negligenciada no ASHRAE 14-2002. O engenheiro de eficiência energética que pretende avaliar o uso da simulação calibrada deverá buscar por literatura adicional para um maior entendimento. Faltam também sugestões de softwares a serem utilizados.

O IPMVP 2007 tem logo no seu início uma discussão sobre quem deve utilizar o protocolo, com exemplos e orientações iniciais para guiar a leitura do protocolo para cada caso. Além disso, discute brevemente também o relacionamento com os outros protocolos e os benefícios da utilização do IPMVP. No capítulo 3 são estabelecidos princípios de M&V que deverão nortear decisões sobre situações não previstas no protocolo. No capítulo 4 há um fluxograma para auxiliar o engenheiro de eficiência energética a escolher a opção de estratégia mais adequada de M&V.

O IPMVP 2007 contém exemplos da utilização da simulação calibrada como de um prédio comercial onde não haviam medidores instalados durante o período de linha de base e também um prédio comercial novo projetado para operar de forma mais eficiente que a legislação local, uma deficiência do ASHRAE 14-2002.

Alguns pontos que podem ser desenvolvidos para as próximas revisões do IPMVP 2007 são o melhor detalhamento dos exemplos que não contêm as tabelas com os dados para exercício próprio do engenheiro de eficiência energética e o desenvolvimento de um roteiro para utilização do protocolo.

Um ponto importante que é negligenciado tanto no ASHRAE 14-2002 e no IPMVP 2007 é o processo diagnóstico de oportunidades em uma instalação. O objetivo desse diagnóstico é identificar e quantificar os maiores potenciais de economia e precisa ser conduzido antes do início de qualquer MCE.

Ambos os guias não atentam à necessidade de realizar auditorias na linha de base. “Quando mudanças são feitas no uso ou operação da instalação, geralmente a linha de base precisa ser ajustada” (ASHRAE 14, 2002, p.13, tradução nossa). Apesar de haver menção de que alterações precisam ser documentadas e incorporadas como ajustes na determinação da energia economizada, os guias partem do pressuposto de

que essas alterações são imediatamente consideradas em um processo confiável, o que em grande parte das vezes não acontece de fato.

4 LEVANTAMENTO DE ESTUDOS DE CASO DE PROJETOS DE EE

Dutta (2002) exemplifica em dezesseis estudos de caso significativas oportunidades de economia em projetos de EE onde técnicas pouco comuns, inovadoras e bastante lucrativas foram executadas com êxito na Índia. Os *paybacks* variaram de 2 meses a 2,3 anos, ou seja, bastante atrativos para qualquer investidor. Ramos e Tatizawa (2006) em seu artigo apresentam um estudo de caso de otimização na utilização de motores em uma indústria de alimentos que representou uma economia de 3,1 GWh anuais com um *payback* de 23 meses. Ambos os estudos de caso descritos nesses e em diversos outros artigos apresentam uma omissão bastante comum: não apontam como a energia economizada foi medida.

A seguir são detalhadamente discutidos 3 estudos de caso de projetos de EE da literatura, e são verificadas as principais características apontadas pelos autores no que se refere à aderência às metodologias de medição e verificação, ou simplesmente a sua ausência.

4.1 Estudo de Caso 1 – Aplicação de Inversores de Frequência em Boosters

O primeiro caso trata-se do projeto de eficiência energética pelo controle de pressão de vazão através de variadores de velocidade e automação. Esse projeto realizado pela Companhia de Águas de Novo Hamburgo/RS foi vencedor da primeira chamada pública de projetos de conservação e uso racional de energia elétrica e água no setor de saneamento ambiental em 2007 promovido pelo PROCEL SANEAR em parceria com o Ministério das Cidades (Kutscher et al., 2007).

A efficientização de sistemas de bombeamento para saneamento é bastante particular, por isso é conveniente detalhar tais particularidades antes da apresentação do projeto em si. Tipicamente, os componentes de um sistema de bombeamento são: captação/bombeamento; tratamento; armazenagem; distribuição e uso final. Esses

componentes seguem o trajeto do fluido (água), desde a captação até os pontos de uso final (Monachesi e Monteiro, 2008).

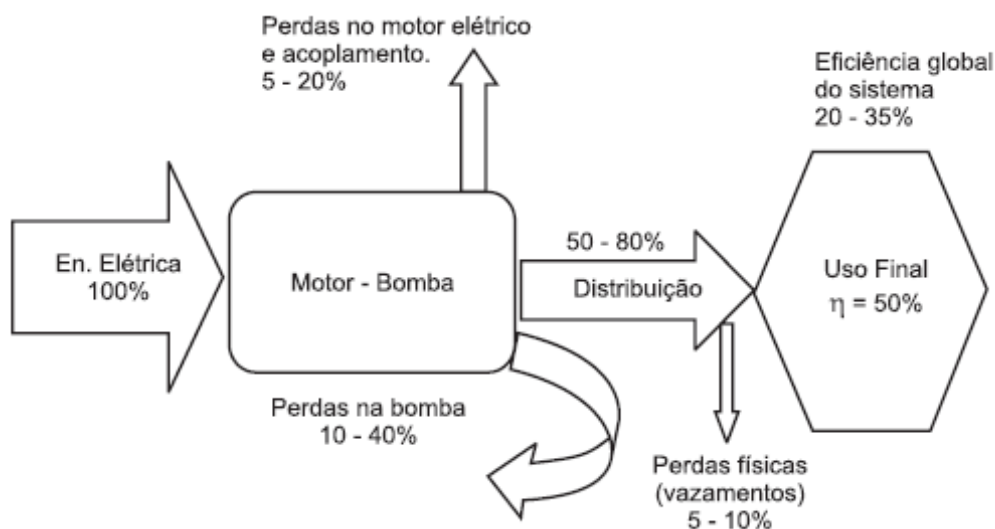


Figura 6 – Diagrama de balanço de energia com as perdas do sistema
Fonte: Monachesi e Monteiro (2008), p. 15

Na Figura 6 apresenta um balanço típico de energia em um sistema de bombeamento onde se observa a eficiência global em um sistema de distribuição de água está entre 20 e 35%, tal que as maiores oportunidades de economia de energia estão na bomba, distribuição e usuário final. Apesar do conjunto motor-acoplamento tipicamente poder contribuir com 20% de perda, não está entre os maiores problemas de eficiência do conjunto.

Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), atualmente cerca de 3% do consumo total de energia elétrica do Brasil, o equivalente a 8,7 bilhões de kWh/ano, são usados no abastecimento de água e esgotamento sanitário (Menezes et al., 2007).

As principais oportunidades de economia de energia elétrica são encontradas nas melhorias de procedimentos operacionais, no dimensionamento dos sistemas, na troca dos equipamentos obsoletos e no uso das tecnologias eficientes. Os conjuntos motobombas são responsáveis pela maior parte do consumo de energia elétrica nos sistemas de saneamento, cerca de 90% do total (Menezes et al., 2007).

Apesar de responsáveis pela maior parte do consumo de energia elétrica, melhorar a eficiência dos conjuntos de motobombas não significa aproveitar a melhor oportunidade de economia que é reduzir o desperdício no uso final, seja por

vazamentos no usuário ou mesmo pelo uso irracional da água, como mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Oportunidades de economia em sistemas de bombeamento

Área para melhoria	Energia Economizada
Uso final da água	Até 70%
Redução de vazamentos	15%
Melhoria da rugosidade	15%
Melhoria do rendimento do motor	5%
Melhoria do rendimento da bomba	5%
Variadores de velocidade	27%

Fonte: Monachesi e Monteiro (2008), p.20

Uma parte significativa das ineficiências de qualquer sistema deve-se a não fenômenos naturais que tornam as condições não ideais, como a rugosidade dos materiais, resistência elétrica dos condutores, atrito em mancais, etc. Dessa forma há um limite econômico para tornar equipamentos mais eficientes. Motores são um bom exemplo disso porque teoricamente poderiam ser aumentados os diâmetros dos condutores para reduzir a resistência elétrica, mas há limites físicos de peso dos componentes que o tornariam inviáveis física e economicamente de se construir. A tabela 4 mostra que a maior parcela de oportunidade de redução no consumo de energia está no uso final. Menor uso final através da conscientização no uso significa menos bombas, redes, menor captação e distribuição com um conseqüente benefício em termos de consumo de energia.

Porém, se o foco da medida de eficiência energética estiver nas ações que dependam da companhia de distribuição apenas, os sistemas de bombeamento tornam-se excelentes candidatos a projetos de EE onde algumas oportunidades de economia são mostradas na Tabela 5.

Tabela 5 – Oportunidades de melhoria da eficiência no bombeamento

Oportunidade	Descrição
Melhorar o rendimento da bomba.	Seleção adequada da bomba. Verificação do ponto de funcionamento e ajuste para a faixa do maior rendimento
Melhorar o rendimento do motor.	Adequação do motor à carga da bomba. Uso de motores de alto rendimento.
Reduzir a vazão recalçada.	Construção de reservatórios por zona de

	pressão.
Reduzir pela variação da velocidade	Uso de variadores de velocidade para acionamento das bombas que trabalham com variação de carga ao longo do dia.
Fazer a associação adequada de bombas.	Associação em série, paralela ou individual, procurando otimizar o ponto de funcionamento do sistema.
Eliminar os problemas de cavitação.	O NPSH disponível calculado deve ser superior em 20% e no mínimo em 0,50 m ao NPSH requerido pela bomba em todos os pontos de operação.
Evitar a recirculação.	Uso de anéis de desgaste ou outros dispositivos de vedação com as folgas corretas.

Fonte: Monachesi e Monteiro (2008), p.19

Segundo Kutscher et al. (2007), a COMUSA enfrentava severo inconveniente pela não regulação da velocidade das suas motobombas tipo *booster*. Essas bombas, normalmente submersas, sofriam grande solicitação em função da variação de demanda de água durante o dia levando-as, em alguns períodos do dia, a prejudicialmente elevar a pressão de água danificando as redes. Essa situação incômoda ocorria porque é comum em sistemas de bombeamento de sistemas de saneamento antigos o uso de motores de indução sem controle de velocidade. Essa situação de operação com picos e pressão e vazão desnecessários, além de aumentar o número de rompimentos, torna muito ineficiente o bombeamento aumentando o consumo de energia e perdas físicas de água.

Como mencionado por Kutscher et al. (2007), o foco inicial do projeto foi reduzir o número de rompimentos com o evidente benefício ao consumo de energia, porém logo vislumbrou-se ganhos de disponibilidade de capacidade de bombeamento. A energia elétrica está entre os maiores custos das companhias de saneamento, por isso, ganhos em eficiência energética nos sistemas de bombeamento são muito saudáveis para os balanços dessas empresas. Assim, após análise técnica, optou-se pela instalação de inversores de frequência em três *boosters* de 40cv, 12cv e 8cv respectivamente.

Uma vez definido o escopo do projeto foi realizada a determinação da linha de base através de ensaios para determinar as condições reais de operação, levantadas as curvas de rendimento das bombas e comparadas com as originais de cada uma.

Kutscher et al. (2007) identificou também outros fatores que afetam a eficiência como desequilíbrio entre fases, rotores desgastados, alinhamento de eixo, mancais e rolamentos com problemas de manutenção, foram identificados e corrigidos para não haver vício nos resultados da medida de eficiência energética.

Durante 3 meses foram medidos os parâmetros de energia consumida e demandada, fator de potência, correntes de operação, gasto com energia e manutenção, pressão e vazão de água com o objetivo de determinar o consumo unitário de energia pelo volume de água aduzido (kWh/m^3), além de avaliar perdas de água decorrentes de pressões excessivas impostas às redes.

Cada *booster* tem sua própria medição para tarifação pela concessionária de energia, por isso foi escolhida a opção reforma isolada do guia de M&V do PROCEL (PROCEL, 2007) e a comparação da energia economizada feita através da fatura.

Segundo Kutscher et al. (2007), houve otimização do indicador kWh/m^3 , diminuição de rompimentos e desgastes na rede de distribuição demonstrados através da redução de custos de manutenção para aqueles equipamentos. A Figura 7 mostra a redução do consumo de energia resultante da implantação do inversor segundo dados da AES Sul.

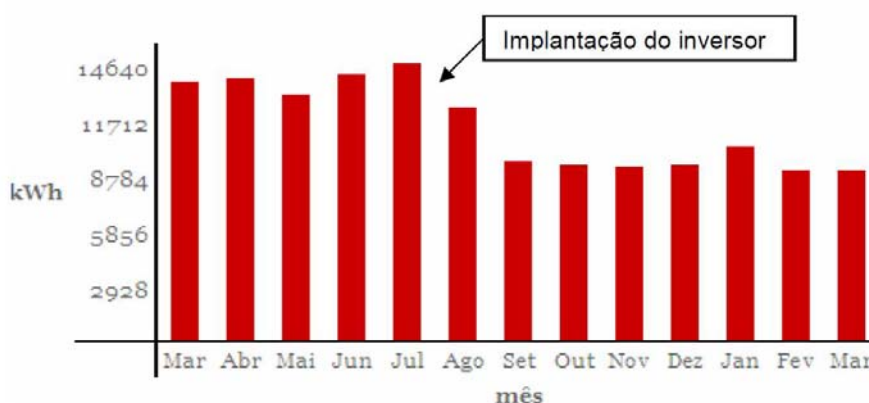


Figura 7 – Dados de consumo do *booster* Calvet
Fonte: Kutscher et al. (2007), p.6

Kutscher et al. (2007) em seu projeto fizeram uso do guia de medição e verificação publicado pelo PROCEL (PROCEL, 2007) que, por sua vez, baseou-se no IPMVP. A utilização de um protocolo de M&V mostra a preocupação em medir uma economia real, assim como os inúmeros ajustes realizados antes da implementação da MCE para evitar vícios nas medições.

No entanto, algumas lacunas puderam ser identificadas pela análise do trabalho. O tempo de linha de base, 3 meses, foi arbitrado tal que não considerou a

sazonalidade do consumo assim como a temperatura ambiente média. Não considerar essa variável faz a resultante da energia economizada desconsiderar perdas com evaporação e grandes variações de consumo existentes entre estações quentes e frias.

Outra significativa lacuna é não haver menção a um sistema de gestão de EE e tampouco processo de auditoria que garanta que os dados de energia economizada são confiáveis e serão sustentados no futuro. A inevitável substituição de pessoas e futuras modificações nos equipamentos certamente terão impacto na eficiência do sistema, que quando não faz parte de um sistema de gestão não será percebida e os ganhos diminuirão ou deixarão de existir, sendo substituídos por novas ineficiências.

O tratamento das incertezas envolvidas, desde a etapa de definição da linha de base até os erros de medição dos equipamentos da concessionária, também não foram considerados como recomendados nos principais protocolos de M&V (IPMVP e ASHRAE). É de se compreender já que esse tipo de análise não é abordado no guia de M&V do PROCEL (PROCEL, 2007), no qual esse trabalho foi baseado.

4.2 Estudo de Caso 2 – Simulação Calibrada em Edifício Comercial

O segundo estudo de caso apresentado aqui foi desenvolvido por Pan, Huang e Wu (2007) e trata-se da utilização da simulação calibrada para capturar a energia economizada a partir de medidas de conservação de energia aplicadas em um edifício comercial em Shanghai. Essa escolha deveu-se ao fato de exercícios com simulação calibrada estarem disponíveis na literatura para edifícios comerciais e de difícil acesso em ambientes exclusivamente industriais. Este edifício de 88 andares, construído em 1999, tem aproximadamente 300.000 m² e consiste de escritórios, hotel, shopping center, auditório, danceteria, restaurantes, centros de entretenimento, estacionamentos, além das áreas de suporte e manutenção.

Para determinação da linha de base uma vasta quantidade de parâmetros precisou ser coletada em função da pluralidade de atividades realizadas no edifício. O tempo de linha de base foi definido como 12 meses em função da exigência mínima pela opção da simulação calibrada. Esse período é coerente com a operação

principalmente em hotéis onde a sazonalidade de hóspedes e variação de temperatura tem significativo impacto no consumo de energia.

Para executar o modelo de predição de consumo de energia, Pan, Huang e Wu (2007) fizeram uso do software Visual DOE 2004 e aplicaram a simulação calibrada seguindo os seguintes passos:

- a. Produzir um plano de calibração simulada: Especificar o cenário da linha de base, selecionar o software de simulação, definir as tolerâncias e índices de calibração;
- b. Coletar os dados: de utilidades, sobre isolamento térmico, termodinâmicos do sistema de HVAC, de ocupação, meteorológicos, entrevistas, coletas pontuais, plantas construtivas e programação de operação;
- c. Modelar os dados no software e executar modelo: Modelar os dados no software de acordo com o manual e executar o simulador para verificar sua capacidade de prever o consumo de energia;
- d. Calibrar modelo de simulação: Comparar os consumos simulados com os dados de consumo da fatura de energia e comparar dados simulados a valores medidos;
- e. Refinar modelo: Se os indicadores estatísticos de erro calculados nos passos anteriores não estiverem suficientemente calibrados, revisar os dados de entrada do modelo e fazer novas comparações entre valores simulados versus valores reais;
- f. Calcular energia e demanda economizadas: Usar o modelo de simulação calibrada para determinar o consumo pré reforma.

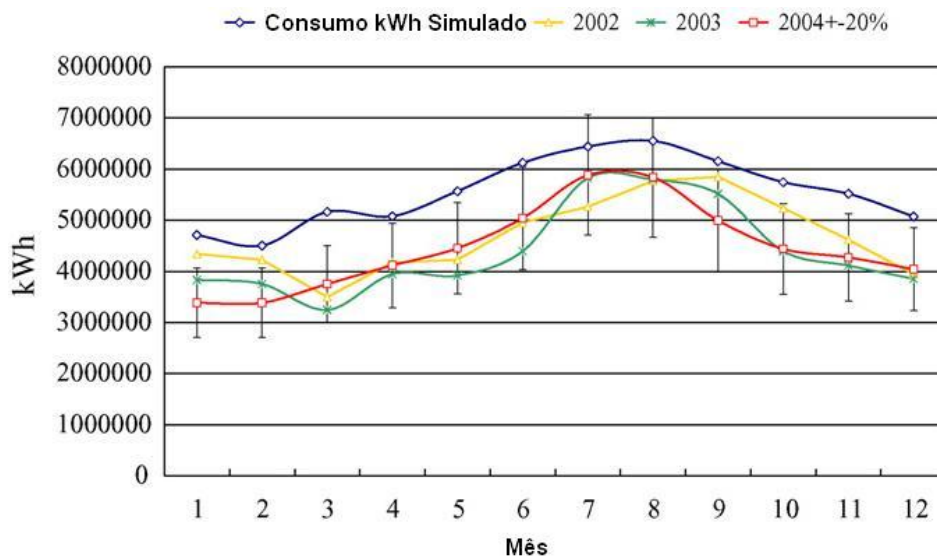


Figura 8 – Consumo real de energia elétrica em kWh vs. consumo estimado pelo primeiro modelo de simulação.

Fonte: Pan, Huang e Wu (2007), p.654, tradução nossa

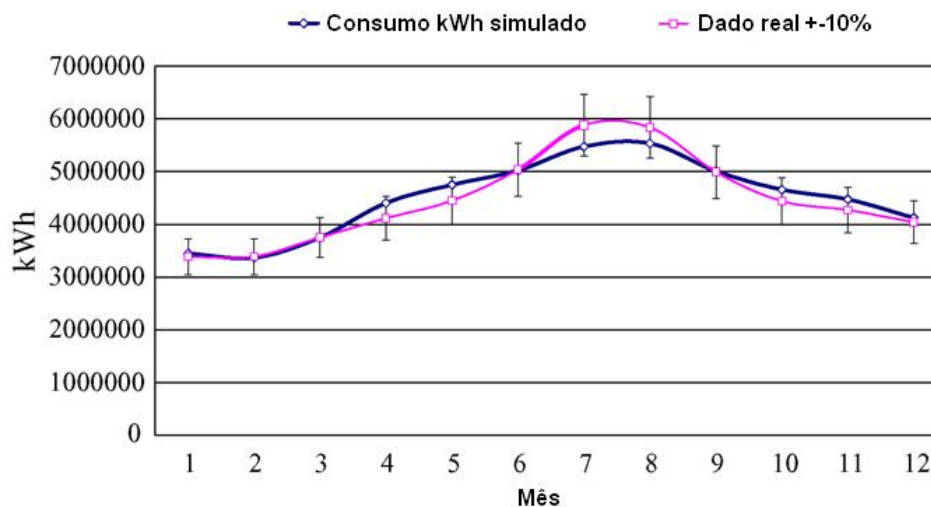


Figura 9 – Consumo real de energia elétrica em kWh vs. consumo estimado pelo modelo de simulação após a 4ª calibração

Fonte: Pan, Huang e Wu (2007), p. 655, tradução nossa

Uma comparação dos gráficos acima mostra a diferença de precisão do modelo antes e depois de uma série de calibrações. A Figura 8 mostra que os valores simulados estão na maioria dos meses fora dos 20% de tolerância dos dados reais de 2004 estabelecidos naquele momento. Por outro lado, na Figura 9 os valores simulados encontram-se em todos os casos dentro de uma faixa de +-10% do dado real de 2004 que atende o critério do IPMVP de desvio para o valor mensal.

Uma vez estabelecido e calibrado o modelo de simulação foram executadas algumas MCEs, como descrito por Pan, Huang e Wu (2007):

- a. Substituição do acionamento direto por inversor de frequência das bombas secundárias nas centrais de água gelada e água quente;
- b. Reaproveitamento de ar frio no ar condicionado no inverno;
- c. Redução da irradiação luminosa de 12 para 9,31 W/m² aumentando a eficiência do sistema de iluminação sem sacrificar a iluminância no escritório (500 lux).

O resumo do resultado da economia de eletricidade resultante das MCEs citadas pode ser observado na Tabela 6:

Tabela 6 – Economia de eletricidade mensal em edifício comercial em Shanghai

Eletricidade (kWh/m ²)			
	Indicador de consumo	Economia	%
Caso base	180	-	-
MCE #1	172	8	4,4
MCE #2	180	0	0
MCE #3	177	3	1,7

Fonte: Adaptado de Pan, Huang e Wu (2007)

Diferentemente do estudo de caso 1, o presente estudo de caso fez uso da opção simulação calibrada do IPMVP. A simulação calibrada prevê a constante calibração e revalidação do modelo. A característica dessa opção para determinação da energia economizada minimiza o fato de não haver sistema de gestão de EE. O software de simulação pede constantes entradas de dados e validação de parâmetros que ajudam a sustentar a energia economizada por períodos maiores.

Outra diferença importante entre os casos 1 e 2 é o fato de Pan, Huang e Wu (2007) terem realizado análise de erros das previsões do modelo de linha de base. Essas análises são fundamentais para que imperfeições do modelo não sejam contabilizadas como energia economizada.

É possível notar pela análise da tabela 2 que as MCEs executadas no edifício tiveram limitado efeito. Segundo os autores, especialmente a MCE #2 economiza pouca energia devido à umidade relativa do ar externo em Shanghai normalmente

alta. A consideração do erro reduz drasticamente ou praticamente elimina a economia de MCEs com pequeno potencial de redução. A não consideração do erro certamente afeta o resultado líquido da economia, como no estudo de caso 1, onde foi relegado, levando a conclusões equivocadas sobre otimizações superestimadas ou mesmo irreais.

4.3 Estudo de Caso 3 – Implementação de Motores de Alto Rendimento

O terceiro estudo de caso, que segundo Ramos (2005), até a ocasião tratava-se do maior projeto de eficientização de sistemas motrizes foi realizado em uma indústria alimentícia no interior de São Paulo. Nele foram substituídos 382 motores compreendendo máquinas entre 1 e 350 cv, totalizando aproximadamente 17000 cv de potência.

Os resultados obtidos por Ramos (2005) indicam que houve uma economia de 3100 MWh anuais correspondendo a 4,52%, além do impacto indireto em redução de horas paradas e custos de manutenção.

O projeto foi implementado observando as recomendações do Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética (ANEEL, 2002b) uma vez que foi financiado com recursos do PEE e focou em duas oportunidades principais de economia de energia:

- a. Substituição de motores de mesma potência nominal.
- b. Redimensionamento motriz

O critério arbitrado para seleção da solução a ser implementada foi o carregamento calculado do motor que deveria ser inferior a 75% para considerar o redimensionamento, caso contrário, apenas a aquisição de um motor de alto rendimento fora considerada.

Para os casos onde houve redimensionamento, Ramos (2005) teve o cuidado de reestudar a partida do motor tal que os novos motores de menor potência tivessem conjugado suficiente para acelerar as cargas desde o repouso até sua velocidade de

funcionamento sem, no entanto, ultrapassar o tempo limite de rotor bloqueado especificado pelo fabricante dos motores.

Para a análise dos dados Ramos (2005) fez uso do software BD Motor que a partir de dados medidos e coletados em campo, tarifas e dados econômicos inseridos fez uma análise de fluxo de caixa projetado permitindo a tomada de decisão de quais motores seriam substituídos. O valor do investimento para os 382 motores substituídos foi de R\$ 1.386.825,00 ou US\$ 462.275,00 na cotação da época.

Segundo Ramos (2005), os 3100 MWh de energia anuais economizados resultariam em um VPL de aproximadamente R\$ 6 milhões em 15 anos, com uma Taxa Interna de Retorno de 58% e um tempo de retorno de 23 meses. Meses após a implantação do projeto, medições foram executadas e faturas verificadas para certificar a energia economizada e que segundo Ramos (2005) confirmaram as previsões do BD Motor atestando sua precisão em fazer estimativas.

A descrição da metodologia desse projeto evidencia um dos principais equívocos da implementação de MCEs: a simples comparação de faturas. Apesar dos detalhados estudos do funcionamento dos motores naquele particular momento e a decisão em substituí-los ter sido correta, a análise que leva à conclusão sobre a precisão do procedimento aplicado é passível de questionamento.

Nos anos de 2003-2004, quando esse projeto foi implementado, a Resolução 492 da ANEEL (ANEEL, 2002a) determinava o uso do Manual do Programa de Eficiência Energética Ciclo 2002/2003 (ANEEL, 2002b). Este, por sua vez, não fazia menção a procedimentos específicos para garantir a continuidade da economia de energia. Apesar da Resolução 492 estabelecer que “[...] os projetos deverão apresentar metodologia de avaliação, monitoração e verificação de resultados” (ANEEL, 2002a, p. 2), nem a resolução ou mesmo o manual faziam referência a qualquer protocolo de medição e verificação. Dessa forma cada engenheiro de eficiência energética era responsável por estabelecer sua própria, assim como fez Ramos (2005).

Assegurar os ganhos obtidos através da eficiência energética tem um custo que está por detrás do conhecimento necessário para medir e verificar. Ramos (2009) retrata sua observação inesperada em um trabalho mais recente:

As substituições compreenderam um motor elétrico trifásico com rotor em gaiola do tipo padrão cuja troca foi feita por um motor de alto rendimento, com o objetivo de comparar esses dados de medições com os valores

apresentados pela Norma NEMA MG1 (1998) e ELETROBRÁS (2003), onde a substituição de motores do tipo padrão por de alto rendimento apresenta economias de 2 a 6%, teoricamente. Durante a avaliação dessas medições, verificaram-se os problemas encontrados por essas empresas antes, durante e após a substituição dos motores elétricos. Em alguns casos, a substituição de um motor antigo do tipo padrão por um motor novo do tipo alto rendimento resultou num aumento do consumo de energia elétrica. (Ramos, 2009, p.212)

Ou seja, mesmo projetos com menor potencial de mudanças, como reforma de sistemas de iluminação ou mesmo substituição de motores, são passíveis de medição, verificação e principalmente análise de erros.

O estudo de caso 3 não apresentou definição de linha de base. Os dados mostram que a linha de base para a comparação posterior foram medições pontuais executadas sem considerar influências externas como clima, quantidade de produção, tipo de produto, etc. A ausência de um modelo de linha de base impede também que tenha sido feita análise de erros das previsões de consumo, fundamental para contabilizar a energia economizada.

A inexistência de um processo que garanta no tempo medições e verificações da energia economizada gera questionamentos sobre a acuracidade da análise econômica uma vez que a mesma não incorpora o custo de M&V, e assim não pode garanti-lo. Segundo o fluxo de caixa apresentado por Ramos (2005) resumido na Figura 10, não foram encontradas evidências da incorporação de custos de M&V como despesas operacionais (OPEX) ou mesmo o uso de protocolos M&V como medidas para assegurar a sustentabilidade da energia economizada.

	Ano 0	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 4	Ano 5
Potência Instalada [cv]	16889	16889	16889	16889	16889	16889
Redução de Demanda [kW]	0	443.92	443.92	443.92	443.92	443.92
Tarifa de Demanda [R\$/kW]	39.52	39.52	39.52	39.52	39.52	39.52
Benefício Redução de Demanda [R\$]	0	210525	210525	210525	210525	210525
Economia de Energia [kWh]	0	3131386	3131386	3131386	3131386	3131386
Tarifa de Energia [R\$/kWh]	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189	0.189
Benefício Economia de Energia [R\$]	0	591832	591832	591832	591832	591832
Receita [R\$]	0	802357	802357	802357	802357	802357
CAPEX [R\$]	-1386825	0	0	0	0	0
Depreciação [R\$]	0	92455	92455	92455	92455	92455
OPEX [R\$]	0	0	0	0	0	0
Fluxo de Caixa Líquido [R\$]	-1386825	802357	802357	802357	802357	802357

Figura 10 – Extrato de caixa dos primeiros 5 anos do resultado do programa de eficiência energética do estudo de caso 3.

Fonte: Ramos (2005), p.85

5 PROPOSTA DE MODELO DE GESTÃO SUSTENTÁVEL DA EE

O contrato de concessão firmado pelas empresas concessionárias do serviço público de distribuição de energia elétrica com a ANEEL estabelece que as concessionárias devem aplicar anualmente o montante de no mínimo 0,5 % de sua receita operacional líquida no combate ao desperdício de energia elétrica. A Resolução Normativa Nº 300 da ANEEL de fevereiro de 2008, em substituição à Resolução 492 anteriormente citada, estabelece que:

O formato e a metodologia de apresentação dos projetos de eficiência energética, bem como das avaliações técnico-econômicas inicial e final, devem observar as orientações contidas no Manual Para Elaboração do Programa de Eficiência Energética (ANEEL, 2008a, p. 1)

O Manual Para Elaboração do Programa de Eficiência Energética por sua vez, estabelece que:

A proposta para campanhas de medições deverá ser baseada no Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP), que fornece uma visão geral das melhores práticas atualmente disponíveis para medir e verificar os resultados de projetos de eficiência energética (PIMVP). (ANEEL, 2008b, p.42)

Assim, sob a perspectiva da aplicação do recurso público em eficiência energética, o Brasil já tem base legal e ferramentas disponíveis para que determinação da energia economizada siga padrões de medição e verificação existentes e internacionalmente aceitos.

No Brasil o PROCEL editou em 2007 um guia de medição e verificação baseado no IPMVP como uma iniciativa para aproximar o investimento privado de técnicas de M&V (PROCEL, 2007). Porém, de maneira geral, a utilização da M&V dentro da estratégia de negócio das organizações ainda é exceção.

5.1 Modelo de Gestão Sustentável de EE na Indústria

Baseado na revisão bibliográfica dos protocolos de M&V, observando a contribuição de cada um e suas oportunidades de melhoria, e a experiência

compartilhada em alguns casos de projetos de eficiência energética, propõe-se uma metodologia de gestão sustentável da EE na indústria com o objetivo de tornar mais claro o caminho a ser percorrido desde o momento em que se considera a EE um alternativa de investimento até a apuração sustentável dos resultados.

A metodologia a ser seguida no processo de gestão de EE é complementar ao uso dos protocolos de M&V, seja ele o IPMVP (2007) ou o ASHRAE 14 (2002). Essa metodologia tem como objetivos gerais:

- a. Alinhar o uso das melhores práticas e processos disponíveis;
- b. Orientar a simplificação e padronização dos controles de indicadores de EE em uma instalação industrial;
- c. Ajudar o engenheiro de eficiência energética a pensar em todo o processo de gestão, não apenas nas MCEs;
- d. Identificar os envolvidos e interessados e melhorar a comunicação;
- e. Alavancar processos MCEs similares pela comparação de indicadores.

A metodologia é dividida em 9 etapas como segue:

5.1.1 Obter o suporte/ acordo da liderança

Qualquer que seja a organização, o suporte da liderança é condição *sine qua non* para o sucesso de uma iniciativa de EE. O primeiro e mais óbvio motivo para isso é que a liderança tem a responsabilidade pela aprovação dos custos e investimentos necessários para a implementação de MCE. Custos não são apenas aqueles que são diretamente relacionados como, por exemplo, tempo de consultores, aluguel ou compra de instrumentos, etc. A dedicação das pessoas interessadas em implementar MCEs também é um custo para a organização.

Por outro lado, isso não significa que a iniciativa de tornar uma instalação energeticamente mais eficiente necessariamente deva vir da liderança tornando os colaboradores meros executores. Nos níveis operacionais estão as idéias com maior potencial de execução e retorno para organização.

O suporte da liderança precisa ser visível com metas claras e tangíveis, e ao atingi-las, as pessoas precisam ser reconhecidas. Segundo o IEEE 749 (1995) um dos cinco fatores que são críticos para organizar um programa efetivo de gestão de EE é obter o suporte da alta liderança.

5.1.2 Identificar líder de EE

Todo e qualquer esforço em implementar uma política ou projeto terá maior probabilidade de sucesso se houver um responsável designado como tal. É da autoridade decorrente do suporte que a liderança lhe delegou que o líder de EE conseguirá dar visibilidade suficiente para esse esforço e assim obter o compromisso das pessoas.

Modificar ou criar a organização para dar autoridade para o líder de EE é um dos cinco pontos críticos para o sucesso de um programa efetivo de gestão de EE levantados pelo IEEE 749 (1995). Entre milhares de definições existentes, liderança pode ser convenientemente definida como “o uso de influência não coercitiva para dirigir atividades de membros de um grupo organizado em benefício do cumprimento dos objetivos do grupo” (Jago apud Cleland, 1995, p.85, tradução nossa). Essa liderança terá maior probabilidade de sucesso a partir do momento em que os colaboradores se sentirem responsáveis pelo resultado, assim como o líder formal.

5.1.3 Identificar equipe de EE

Tão crítico quanto a identificação do líder de eficiência energética é a identificação da equipe. A equipe deverá ser composto por pessoas de diversas áreas da organização, como por exemplo:

- a. Engenharia/Manutenção/Utilidades: Responsáveis por conduzir e coordenar estudos, disponibilizar informações de consumo e equipamentos, coordenar a implantação de MCEs, pesquisar o uso de tecnologias mais eficientes, preparar relatórios de energia economizada, etc;
- b. Compras/suprimentos: Responsáveis por estabelecer contatos com concessionárias e ESCOs, disponibilizar dados de faturamento, renegociar contratos, etc;
- c. Finanças: Responsáveis por executar/validar as análises financeiras dos projetos de EE, fazer a validação dos resultados financeiros declarados nos relatórios de economia, etc;

- d. Comunicação: Responsável por informar a organização dos resultados do esforço de EE e manter a motivação dos funcionários em obter melhoria dos resultados, etc;
- e. Liderança: Aprovar custos e investimentos, aprovar relatórios, assegurar que a EE faça parte da estratégia da organização, cobrar melhoria dos indicadores pela implementação das MCEs, aprovar o pagamento das ESCOs, etc.

5.1.4 Executar diagnóstico das instalações

De acordo com o IEEE 739 (1995) o primeiro passo do time na implementação de um programa efetivo de gestão EE é a execução de uma auditoria energética também chamada de diagnóstico das instalações. Um dos primeiros objetivos desse diagnóstico é fazer uma identificação preliminar do consumo, de quais fontes e usos finais principais. O PROCEL define diagnóstico energético como:

[..] é um trabalho de levantamento das condições e características técnicas e funcionais de uma instalação, quanto ao consumo de energia. É realizado em diferentes etapas, e tem como resultado os potenciais de economia e uma proposta de melhoria dos sistemas em geral. As etapas podem ser identificadas como: auditoria energética da instalação - levantamento histórico de consumo da instalação, detalhado pelos diferentes insumos energéticos, num horizonte mínimo de 24 meses, para identificar a sazonalidade típica, efetuando também medições em tempo real; levantamento das instalações - identifica as condições técnicas dos equipamentos e dos sistemas energéticos; identificação dos desperdícios e das possibilidades de intervenções técnicas - para reduzir o consumo de energia e deslocar demanda do horário de ponta; avaliação econômica das medidas propostas - determinando as economias de recursos projetadas, o investimento necessário, a taxa interna de retorno e o tempo de retorno dos investimentos; estudo de comportamento dos usuários. (PROCEL, 2009, site acesso 10 nov 2009)

A composição da equipe de auditoria usualmente não é a mesma da equipe de eficiência energética. Nesse tipo de procedimento é necessária a participação de profissionais com comprovada experiência nas áreas a serem diagnosticadas como, por exemplo: energia elétrica, vapor, água gelada, fluidos térmicos, ar comprimido, refrigeração, etc. É usual que recursos com conhecimentos específicos em energia não estejam disponíveis ou mesmo não existam nas organizações, por isso, na

ausência dos mesmos é recomendável contratar consultores ou empresas especializadas para liderar e conduzir o processo.

O Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE) tem um programa interessante para pequenas e médias indústrias conduzido pelo Centro de Auditoria Industrial do Programa de Tecnologias Industriais (DOE, 2008). Nesse programa as indústrias recebem gratuitamente um processo de auditoria de estudantes de graduação coordenados por um profissional de comprovada experiência. O mesmo programa está disponível em uma versão paga para as grandes indústrias.

No Brasil a aproximação do PROCEL junto às indústrias se dá por meio de associações e federações das indústrias através da estruturação de políticas públicas, programas de gerenciamento pelo lado da demanda e campanhas de marketing (PROCEL, 2009). Porém, apesar de haver considerável disponibilidade de materiais técnicos e multiplicadores dos mesmos, o PROCEL ainda está distante de oferecer um serviço de diagnóstico energético como o DOE oferece.

Uma vez montada a equipe que vai realizar o diagnóstico, o processo é usualmente iniciado pelo estudo das faturas de energia, como: eletricidade, gás natural, óleo BPF, vapor, água gelada, ou seja, todas as utilidades geradas externamente e providas à instalação sendo diagnosticada.

Outra etapa igualmente importante é a visita de campo na unidade. Nessa visita de campo os especialistas conhecerão os equipamentos e serão capazes de diagnosticar problemas de manutenção, equipamentos obsoletos, problemas de isolamento, operação inadequada ou ineficiente, etc. A utilização de desenhos dos processos aliada a explicação pelos engenheiros responsáveis pelo processo é desejável, pois amplia a possibilidade de oportunidades a serem prospectadas.

O IEEE 739 (1995) sugere que essa visita de campo seja orientada segundo as seguintes categorias:

- a. Iluminação: interior, exterior, natural e artificial;
- b. Aquecimento, ventilação e ar condicionado: efeitos da condução, convecção e radiação;
- c. Motores e acionamentos;
- d. Processos;
- e. Outros equipamentos elétricos (transformadores, contadores, condutores, seccionadoras, etc);
- f. Aspecto exterior das edificações: Infiltração térmica, isolamento, transmissão.

Durante a visita de campo o líder de EE deve incentivar os operadores a compartilhar informações com os auditores de modo que esses possam entender os processos e identificar oportunidades em procedimentos operacionais. O ANEXO A contém uma série de questões e verificações que o IEEE 739 (1995) recomenda que sejam feitas durante um diagnóstico energético.

Terminada a etapa de campo, os especialistas em energia deverão analisar os processos, faturas e informações de campo de modo a gerar um relatório com uma lista de oportunidades. Essa lista deverá mostrar as oportunidades de economia, uma estimativa do investimento necessário para executá-las e uma rápida análise financeira dos projetos. Essas informações são baseadas na experiência dos especialistas e informações fornecidas pelos outros membros da equipe de EE.

Com essa lista em mãos o líder de EE deve apresentar uma lista de prioridades e solicitar recursos para detalhar as oportunidades de economia e investimento.

O tempo de duração de um diagnóstico energético pode ser desde um dia até vários dias dependendo do tamanho e complexidade das instalações. O guia de boas práticas para avaliação econômica e financeira de projetos e programas de eficiência energética do grupo de energia do Instituto de Educação Internacional (IIE, 2009) sugere que seja realizada uma auditoria ou diagnóstico preliminar com duração de um dia. Nesse diagnóstico seriam coletadas informações dos maiores consumos de energia e seriam geradas recomendações de ações sem custo para aplicação imediata. Esse processo pode ser útil também para que em instalações muito grandes e complexas sejam definidas quais especialidades serão necessárias no processo de diagnóstico energético completo.

Como qualquer procedimento especializado, o diagnóstico energético tem um custo relevante. A liderança da organização deve estar preparada para arcar com esse custo a fundo perdido, pois é possível, mas pouco provável, que não sejam identificadas oportunidades de economia relevantes ou economicamente viáveis. Uma alternativa para aquela organização que não tem previsto no seu orçamento o diagnóstico energético é a utilização das ESCOs.

Faz parte do negócio das ESCOs fazer identificação de oportunidades em potenciais clientes, pois a ESCO tem interesse em conseguir financiador para o projeto, executá-lo e remunerar o capital. Porém, quando as ESCOs fazem os diagnósticos energéticos dificilmente fornecerão detalhes de qual estratégia tomar para economizar energia. A disponibilização dessa informação geralmente depende

da assinatura de um contrato de performance. Outro ponto negativo de ter ESCOs fazendo diagnósticos é que a informação divulgada nos relatórios é parcial, pois considera os aspectos interessantes para o negócio da ESCO e não sob a perspectiva da instalação propriamente dita.

5.1.5 Definir plano de M&V

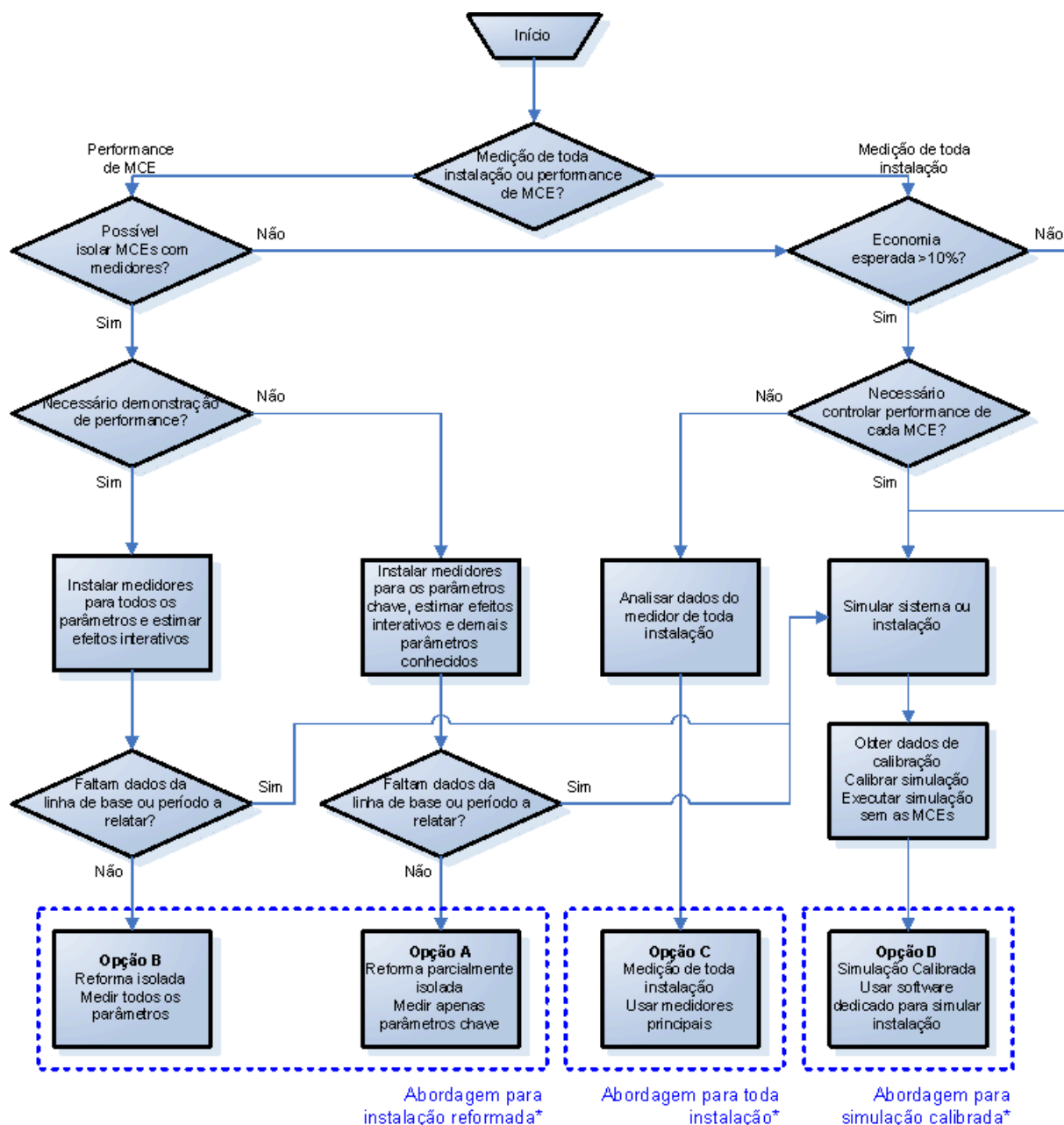
No plano de M&V será definido o escopo das MCEs a serem implementadas. O diagnóstico energético fornece informações preliminares que permitem uma priorização das ações.

O líder de EE deve então decidir qual estratégia vai adotar para implementação das MCEs. Entre as opções que a organização tem disponível estão investir capital próprio ou de terceiros, mas assumindo o risco do investimento, ou fazer um contrato de performance com uma ESCO.

Além da estratégia de como financiar o projeto, o líder de EE precisa especificar qual o nível de precisão que ele necessita nos relatórios e qual protocolo vai ser utilizado para medição e verificação de energia economizada. Seja o IPMVP (2007) ou o ASHRAE 14 (2002), ambos são recomendados, pois ambos tratam a questão da incerteza nas estimativas de forma bastante convincente. O IEEE 739 (1995), apesar de ser tecnicamente mais completo sob a perspectiva das alternativas de redução de consumo, negligencia o tratamento das incertezas das estimativas. É pouco recomendado também por não ter passado por revisão desde 1995.

O ASHRAE 14 (2002) fornece um exemplo para especificação do uso daquele guia: “[...] a determinação da economia deverá obedecer ao guia ASHRAE 14, abordagem 2, medição da performance de toda instalação, com uma incerteza máxima de 20% e um nível de confiança de 90%” (ASHRAE 14, 2002, p.06, tradução nossa).

Em qualquer um dos protocolos recomendados é necessário que o líder de EE decida sobre qual abordagem ou estratégia tomar para medir e verificar a energia economizada. O IPMVP (2007) propõe a utilização de um fluxograma que foi adaptado para considerar as opções equivalentes do ASHRAE 14 (2002).



*Abordagem equivalente pelo ASHRAE 14 (2002)

Figura 11 – Fluxograma de seleção de estratégia de M&V.
Fonte: Adaptado de IPMVP (2007)

No fluxograma da Figura 11 a primeira decisão refere-se a tratar a MCE isoladamente ou dentro do contexto de toda instalação. A tomada dessa decisão deve considerar que se a economia for muito significativa e estiver dentro de um contexto de diversas MCEs, pode ser interessante medir toda instalação e reduzir gastos com M&V. Caso contrário, a melhor opção é tratar a MCE isoladamente. Quando é necessário isolar as economias de cada MCE será necessário fazer uso de abordagens isoladas ou simulação calibrada. Ambas as abordagens devem onerar os

orçamentos de M&V. Outro motivo que motiva a escolha pela simulação calibrada é a falta de dados no período de linha de base, seja pela necessidade de implementar uma reforma imediatamente ou se trata-se de um projeto de uma instalação nova.

Se o líder de EE optar pela utilização do guia ASHRAE 14 deverá ainda fazer a confirmação da abordagem escolhida pelos fluxogramas mostrados nas: Figura 3, Figura 4 ou Figura 5.

A partir da escolha de qual estratégia ou abordagem será dada para as MCEs, a equipe de EE deverá selecionar quais variáveis independentes serão registradas durante o período de linha de base e por quanto tempo. Essas variáveis vão ser úteis na determinação do modelo para projeção do consumo e demanda no período pós reforma. A determinação do modelo de projeção de consumo e demanda de energia está intimamente relacionada com a utilização de indicadores de eficiência energética. Segundo Morales (2007) a dificuldade no levantamento de informações para controle e acompanhamento do consumo fazem com que o uso de indicadores fique em segundo plano nos processos de gestão de energia. Porém a não utilização de indicadores remete à prática de comparação direta de faturas, que é extremamente prejudicial para a confiabilidade das estimativas de energia economizada. Nas seções seguintes desse capítulo é discutida a utilização de indicadores e metodologia para determinação do modelo de projeção.

No plano de M&V devem ser revisitadas as projeções de economia de energia feitas durante o diagnóstico energético. Essas devem então compor junto com as estimativas de investimento uma análise econômica mais precisa que subsidiará a tomada de decisão sobre quais MCEs serão implementadas.

É fundamental que o líder de EE pondere que a precisão terá uma implicação no custo de M&V e assim pode consumir uma parte da economia obtida. Segundo Jump e Setz (2000) como regra geral os custos de M&V não devem ultrapassar 10% da economia esperada. Em seus estudos mostram que os custos de M&V estão entre 2% e 14% da economia obtida de reais analisados, dependendo do tipo de projeto e a opção de M&V. Uma forma de avaliar se os custos de M&V estão adequados ao projeto é pelo risco desses projetos. Avaliar o risco de um projeto não é uma tarefa simples, mas grandes empresas costumam usar simuladores de Monte Carlo para avaliar riscos financeiros em projetos. Com esses simuladores são verificadas as probabilidades de sucesso pela modificação controlada de variáveis chave, como câmbio, preço de matérias primas, custo de capital, início da operação, etc. Utilizar

esse tipo de simulador para analisar o risco de um projeto pela variação das variáveis independentes é uma alternativa para avaliar o risco e determinar se um orçamento é adequado ou não para uma MCE.

Outra fonte de risco específica de projetos de EE é o tipo de implementação que será feita. Um projeto de substituição de iluminação de vapor de mercúrio por vapor de sódio, por exemplo, apresenta um risco evidentemente inferior à substituição da isolação de linhas de vapor em uma indústria química. Motivo pelo qual as ESCOs têm maior interesse nesse tipo de projeto com menores riscos, mas que nem sempre são os mais importantes para a instalação.

A periodicidade de publicação dos relatórios é outra definição importante que o líder de EE deve tomar. O mesmo relatório pode ter várias MCEs e cada MCE pode depender de fontes de informações diversas e não sincronizadas. Isso implica em maior espaço de tempo entre relatórios se há a intenção de compilar as informações em um único relatório.

Diferentes MCEs podem ter diferentes abordagens ou estratégias de M&V. Por isso, no plano de M&V cada MCE deve ter para um capítulo dedicado para si. O site do Lawrence Berkeley National Lab (Berkeley, 2009) oferece gratuitamente acesso a exemplos de planos de M&V. É recomendado pelo ASHRAE 14 (2002) que procedimentos de medição e qualidade dos relatórios sejam previstos no plano de M&V.

A rastreabilidade da linha de base é condição fundamental para que os cálculos mantenham a precisão desejada. Por isso é recomendado que o plano de M&V preveja a realização de auditorias da linha de base. Essas auditorias têm o objetivo de detectar alterações na linha de base tal que não estejam contempladas nos ajustes do modelo de previsão. A realização desse tipo de auditoria é detalhada nas seções seguintes.

5.1.6 Tomada de decisão sobre implementação de MCEs

A tomada de decisão sobre a implementação das MCEs com ou sem necessidade de investimentos é de responsabilidade da liderança da organização. Mesmo as MCEs sem custos de implementação, como por exemplo, mudança em procedimentos operacionais ou alteração de especificação de produtos e processos

devem ser analisadas sob a perspectiva do impacto que podem ter sobre outras áreas da organização. A mudança, por exemplo, da temperatura em um forno de sinterização de pintura pode ter impactos indesejáveis na qualidade do produto, que é algo indesejável. Assim, a consulta às áreas responsáveis pela liderança faz parte do processo de tomada de decisão.

Considerando que esses possíveis impactos tenham sido ponderados e que não haja maiores impedimentos, os projetos sem investimento podem ter a sua implementação planejada. Esse tempo de implementação está associado com a complexidade da MCE e o tempo necessário para acumular informações no período de linha de base. Isso porque se a organização deseja saber quanta energia está realmente economizando há a opção de aguardar o tempo necessário para o período de linha de base estabelecido ou fazer investimentos em simulação calibrada. De fato, essa decisão já foi tomada no desenvolvimento do plano de M&V.

As MCEs que demandam investimento acrescentam um ingrediente complicador, a disponibilidade de capital. À exceção das ESCOs, a eficiência energética não é o negócio principal das empresas. Assim, destinar recursos para projetos de EE significa deixar de investir em outras áreas. “A captação de recursos para investimentos é quase sempre limitada, e gerentes tendem a favorecer o negócio principal da empresa em detrimento às funções auxiliares, incluindo energia” (Russell, 2005, p.07, tradução nossa).

Cicone et al. (2007) discorrem sobre o conflito de escolha que o investidor tem em decidir investir em um projeto que economizará alguns milhares de reais em energia ou em um projeto que aumentaria as vendas, o tamanho da empresa e conseqüentemente os lucros. Além disso, há ainda a possibilidade da inserção de fatores qualitativos na tomada de decisão como, por exemplo, o impacto que aquele investimento terá sobre a comunidade em que a organização está inserida.

Os investidores têm disponíveis diversas metodologias para análise de projetos, porém estão habituados a observar apenas alguns parâmetros que facilitam comparações entre oportunidades. As mais conhecidas são o tempo de retorno simples, fluxo de caixa descontado para cálculo do Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno (Cicone et al.,2007).

De acordo com Higgins (2007) o modelo do tempo de retorno (*payback*) dá uma medida grosseira do risco de investimento e serve para uma comparação rápida de projetos com mesmo ciclo de vida, porém limitados a fluxos de caixa constantes.

Ou seja, tempos de retorno maiores implicam riscos igualmente maiores. Mas na maioria dos casos ele falha em prover estimativas realistas principalmente porque não considera custo do capital no tempo.

O VPL e a TIR são ferramentas financeiras complementares. O VPL mostra qual é o valor criado pela oportunidade financeira pelo valor presente de receitas futuras descontadas a uma taxa de juros determinada. Ou seja, é o ganho monetário que o investidor terá sobre o mínimo que ele se propõe a ganhar, a taxa mínima de atratividade (Cicone et al.,2007). Já a TIR é a taxa de desconto necessária para que o VPL seja zero ou que as receitas futuras igualem o investimento presente.

Cicone et al. (2007) ponderam que o VPL tem uma deficiência em comparar projetos com ciclos de vida diferentes uma vez que ele mede o valor criado pelo empreendimento no período considerado. Nesse caso o mais adequado é utilizar o Fluxo de Caixa Equivalente Anual que mede o valor criado pelo projeto em uma forma anualizada. Além disso, ele falha em medir a proporção do retorno pelo investimento.

A definição da TMA de um projeto de EE é diferente dos outros projetos das empresas por envolver riscos diferentes. “Os investidores enxergam oportunidades versus riscos. Ou seja, existe uma relação descrita pela curva de aversão ao risco que mostra que a expectativa de retorno dos investidores aumenta frente ao risco que eles estão dispostos a correr” (Cicone et al., 2007 p.136). Ainda segundo Cicone et al. (2007), é possível então ajustar a taxa de desconto de um projeto ao risco que ele representa para o investidor. Isso afetará negativamente o VPL, mas servirá como uma alternativa para balizar diferentes oportunidades de investimento.

Segundo Higgins (2007), o custo de capital de uma empresa baseia-se nos rendimentos que os fornecedores de capital dessa empresa poderiam ter obtido sobre investimentos alternativos de risco semelhante. Na Equação 2, temos a taxa de captação de capital de uma empresa que pode ser calculada por:

$$K_w = \frac{(1-t) \cdot K_D \cdot D + K_E \cdot E}{D + E} \quad (2)$$

Onde:

t é alíquota de imposto;

Kd é o retorno esperado sobre a dívida;

D é o montante da dívida;

K_e custo do patrimônio líquido;

E é o montante de capital próprio na estrutura de capital da empresa;

Quando os credores e acionistas investem em uma empresa, estes esperam retornos iguais ou maiores que investimentos sobre ativos de riscos semelhantes. Essas expectativas quando transformadas em custos, definem a taxa mínima de rendimento que uma empresa precisa atingir para suprir as expectativas de seus fornecedores de capital. A estimativa dessa taxa mínima é o custo de capital de uma empresa e é bastante adequada para avaliar investimentos típicos, ou de risco médio, feitos por uma empresa. Ou seja, o custo de capital de uma empresa é o custo das fontes individuais ponderadas por sua importância na estrutura de capital da empresa, como mostra a Equação 2 (Higgins, 2007).

O prêmio de risco, por outro lado, pode ser definido de acordo com o tipo de investimento como na Tabela 7.

Tabela 7 – Prêmios de risco por tipo de investimento

Tipo de investimento	Taxa a.a.
Reposição ou reparo	7%
Redução de custos	9%
Expansão	11%
Novo produto	16%

Fonte: Higgins, 2007, p.308, tradução nossa

Alguns autores sugerem o uso do método da Análise de Custo Benefício (ACB) para tomada de decisão em projetos de EE. A ACB é uma ferramenta que tenta transformar fatores não econômicos em um fator monetário para decisão. A relação entre custo para implementar uma MCE e o benefício criado é o ACB. Teoricamente a ACB inclui o valor líquido dos impactos não econômicos como um valor monetário, porém como apontado por Simpson & Walker (1987):

[...] a ACB pode ser usada para produzir quase qualquer resultado desejado pelo analista para atender seus próprios preconceitos e/ou os interesses de seu patrocinador, uma vez que a tentativa de transformar todos os efeitos potencialmente significativos em valores monetários exige um julgamento

arbitrário e subjetivo da parte do analista. (Simpson & Walker, 1987, p.217, tradução nossa)

Mais recentemente, Clinch & Healy (2000) usaram a ACB para avaliar programas de eficiência energética doméstica e foram capazes de contornar as dificuldades para chegar a valores monetários para os aspectos não econômicos, como mencionado por Simpson & Walker (1987). Para isso Clinch & Healy (2000) utilizaram a análise de sensibilidade dos custos para minimizar os impactos de estimativas imprecisas, porém concluíram que “uma metodologia perfeita para a avaliação de programas de eficiência energética em grande escala ainda não está disponível” (Clinch & Healy, 2000, p.123, tradução nossa).

Para resolver as limitações da ACB Simpson & Walker (1987) sugerem o uso de uma abordagem multidimensional. Uma maneira de lidar com este problema é o uso do Método de Análise Hierárquica. Esse método de quantificar e considerar fatores qualitativos no processo de tomada de decisão utiliza o conceito de tomada de decisão estruturada em uma árvore de decisão com a utilização de comparações par-a-par das alternativas, conforme sugerido por Cicone et al. (2007). Dessa forma é possível tornar o processo de decisão mais compreensivo e padronizado, como alternativa ao processo padrão de análise de parâmetros unicamente financeiros.

5.1.7 Implementação das MCEs

A implementação das MCEs através de projetos de eficiência energética não foge da agenda tradicional dos processos de gestão de projetos. No entanto, alguns cuidados devem ser observados para não comprometer a capacidade de apurar a energia economizada no futuro.

A implementação é iniciada pelos investimentos em equipamentos de medição para obtenção de dados do período de linha de base, quando necessários. É fundamental para a qualidade dos futuros relatórios de energia economizada que o período de linha de base seja respeitado. Há casos na literatura, Jump e Setz (2000), em que a opção pela simulação calibrada foi feita por urgência em implementar as MCEs. Porém, essa decisão deve considerar o custo presente e futuro de manter a simulação válida.

Uma vez respeitado o tempo de linha de base da MCE é necessário revisar o algoritmo de projeção da linha de base para incorporar os dados medidos. Em paralelo a isso ocorre a implementação das MCEs.

Faz parte da gestão das MCEs prever recursos no orçamento anual para custear gastos do processo de M&V. Esses custos geralmente se referem à manutenção e operação de equipamentos sensores, calibração, mão de obra para efetuar medições, recursos para realizar cálculos, preparar os relatórios e manter a linha de base atualizada.

5.1.8 Monitorar performance das MCEs

Uma vez implementadas as MCEs é o momento de fazer seu monitoramento tal que as economias obtidas sejam atribuídas e o investimento remunerado. O sucesso de um processo eficiente de gestão de eficiência energética está diretamente ligado à visibilidade do mesmo. Como bem lembrado em IEEE 749 (1995), as metas de redução devem ser divulgadas para todos os colaboradores assim como os resultados obtidos. O sucesso em atingir ou exceder uma meta precisa ser premiado como uma forma de incentivo aos colaboradores pelo bom trabalho.

O monitoramento da performance pode ser feito de diversas maneiras dependendo do tipo de estratégia de M&V adotada na MCE. A forma mais imediata é o monitoramento financeiro da MCE através de uma comparação entre o resultado medido versus o resultado estimado no plano de M&V. Nas estratégias de M&V de instalação isolada o resultado aferido é relevante quase sempre apenas para aquela instalação dificultando comparações. Por outro lado, ao fazer uso de estratégias de M&V de toda a instalação é possível estabelecer parâmetros para comparações de performance com instalações da mesma ou de outras organizações ou *benchmark*.

Benchmark ou meta de referência é um valor de um determinado indicador considerado como referência em boa performance. Há muitas metas de referência em diversos campos da engenharia. Na gestão de projetos, por exemplo, o Independent Project Analysis (IPA) estabelece metas de referência com prazos e custos para implementar diversos tipos de projetos. Essa é uma forma das organizações verificarem se seus investimentos são feitos de forma competitiva.

O ASHRAE é uma importante fonte de metas de referência para diversas aplicações de sistemas de refrigeração e aquecimento no que se refere à eficiência

energética. A diretriz ASHRAE 90.1 (2004), por exemplo, estabelece metas de referência de consumo de energia em prédios comerciais nos Estados Unidos e também metas de eficiência para projetos que desejam obter a certificação LEED™ de projetos verdes.

5.1.9 Auditoria da linha de base

A qualidade das estimativas dos modelos de projeção de consumo para o período pós reforma é extremamente dependente da manutenção da linha de base. Ou seja, uma linha de base desatualizada quase sempre terá influência na estimativa de economia. Seja melhorando ou piorando os indicadores, mudanças na linha de base são prejudiciais, porque podem esconder problemas de eficiência em sistemas e equipamentos, principalmente quando ocorre o efeito de anulação. Nesse tipo de situação uma boa performance de um equipamento é mascarada por uma performance ruim de outro.

Apesar dos protocolos IPMVP (2007) e ASHRAE 14 (2002) alertarem sobre necessidade da atualização da linha de base, os mesmos não prevêm medidas de contingência para situação em que a atualização simplesmente não acontece. No Brasil é comum encontrar empresas com dificuldades em manter seus documentos atualizados. Em 2004 foi publicada a chamada nova NR-10 (2004) que passou a exigir no item 10.2.4 que os estabelecimentos com carga instalada superior a 75 kW constituíssem e mantivessem o prontuário de instalações elétricas. Essa exigência fez com que grande parte das instalações tivesse que se planejar para a elaboração de desenhos atualizados de suas instalações como descrito por Oliveira, Queiroz & Kalb (2009) segundo um cronograma estabelecido pelo Ministério do Trabalho.

A situação gerada pela NR-10 remete constatação que a prática de manter desenhos atualizados é um problema em grande parte das instalações no Brasil. Sabendo que o desconhecimento de uma instalação é um fator de exposição do eletricitista com risco a sua integridade, ainda assim são encontrados problemas de atualização de documentos. Supor que qualquer alteração na instalação será imediatamente considerada na revisão da linha de base parece uma opção de risco. Nesse sentido propõe-se que seja adotada uma prática de auditoria da linha de base cujo objetivo é garantir a aderência do modelo matemático com a realidade da instalação sem depender da iniciativa das pessoas.

A auditoria da linha de base consiste de um processo contínuo de verificação das premissas adotadas no período pré reforma. O protocolo dessa auditoria é o próprio plano de M&V, que deverá conter registros detalhados da instalação da instalação pré reforma.

Uma auditoria pode ser feita por pessoas da própria instalação, como uma auto-auditoria, ou por pessoas externas à instalação. A auto-auditoria é válida porque tem um custo mais baixo do que deslocar um auditor externo para realizá-la. Assim pode ser realizada com mais freqüência e tem uma boa chance de manter os desvios sob controle pela freqüência da sua realização e pelo conhecimento em detalhes da instalação pelos auditores. Porém é possível haver um vício nos resultados da mesma. Nesse sentido é recomendado também realizar auditorias com auditores externos que eliminarão possíveis vícios da auto-auditoria.

5.2 Indicadores de eficiência energética

Apesar de fornecer inúmeras ferramentas e informações úteis para elaboração de um plano de medição e verificação com objetivo da determinação da economia de energia, o IPMVP assim como o ASHRAE 14 são relativamente omissos à complexidade dos indicadores de eficiência energética. Eles deixam a cargo do engenheiro de eficiência energética determinar seus próprios indicadores, no entanto sem alertá-lo sobre alguns problemas metodológicos que podem dificultar o seu trabalho, principalmente porque esses problemas devem aparecer no momento de contabilizar a economia gerada. E nessa ocasião, muito provavelmente, não será mais possível coletar dados para determinar a linha de base. Patterson (1996) alerta também que essas considerações metodológicas, como por exemplo, precisar o que é resultado útil de um processo e o consumo de energia necessário para obtê-lo, são comumente ignorados na literatura.

De forma geral, a eficiência energética refere-se a usar menos energia para produzir a mesma quantidade de serviços e resultado útil. Por exemplo, no setor industrial a eficiência energética pode ser medida pela quantidade de energia requerida para produzir uma tonelada de produto. (Patterson, 1996, p.377, tradução nossa)

Assim, eficiência energética é geralmente definida por uma simples razão expressada na Equação 3 (Patterson, 1996):

$$EE = \frac{RUP}{CEP} \quad (3)$$

Onde:

- a. *RUP*: resultado útil no processo;
- b. *CEP*: consumo de energia no processo.

Patterson (1996) divide os indicadores de EE em Indicadores energéticos, físico-energéticos, econômico-energéticos e econômicos, cujas características seguem:

5.2.1 Indicadores energéticos

Sob a perspectiva da engenharia simplesmente, os indicadores energéticos são a maneira mais óbvia de medir energia e conseqüentemente a EE. A idéia de medir a eficiência termodinâmica de um processo parece atraente porque considera variáveis físicas como pressão, temperatura, concentração, etc., para determinar um estado de entrada do processo que será comparado com as mesmas variáveis em outro estado de saída, e assim determinar a eficiência térmica ou entálpica do processo, como segue na Equação 4.

I – Primeira Lei da Eficiência Energética:

$$E_{\Delta H} = \frac{\Delta H_{Saída}}{\Delta H_{Entrada}} \quad (4)$$

Onde:

- a. $E_{\Delta H}$: Eficiência Entálpica

- b. $\Delta H_{\text{saída}}$: Soma da energia útil no processo
- c. $\Delta H_{\text{entrada}}$: Soma de todas entradas de energia no processo

A eficiência entálpica é assim chamada porque é uma forma de medir eficiência em termos de calor dispendido nas entradas e saídas de um processo. Um exemplo de aplicação da primeira lei da EE é a análise da eficiência de uma lâmpada incandescente cuja energia útil representa apenas 6 por cento da energia fornecida para seu funcionamento. “Nesse processo, apenas 6% da eletricidade fornecida (ΔH) é convertida em luz, com outros 94% sendo perdidos para o ambiente como calor desperdiçado” (Patterson, 1996, p.378, tradução nossa)

Outra maneira de definir a EE como um indicador energético é através da energia ideal mínima necessária para executar determinado trabalho, como segue na Equação 5.

II – Segunda Lei da Eficiência Energética (Patterson, 1996):

$$\rho = \frac{E_{\Delta H(\text{real})}}{E_{\Delta H(\text{ideal})}} \quad (5)$$

Onde:

- a. ρ : Segunda lei da eficiência de um processo para executar uma tarefa
- b. $E_{\Delta H(\text{real})}$: Eficiência entálpica real
- c. $E_{\Delta H(\text{ideal})}$: Eficiência entálpica ideal

Um exemplo da aplicação da segunda lei da eficiência energética é a comparação entre a conversão ideal de calor em eletricidade, que pode ser calculada fazendo uso do Ciclo de Carnot como $E_{\Delta H(\text{ideal})} = 71,2\%$ ($t_1=1000\text{K}$, $t_2=288\text{K}$), e a eficiência entálpica real das usinas termoelétricas na Nova Zelândia $E_{\Delta H(\text{real})} = 30\%$ que fornece $\rho = 42\%$ (Patterson, 1996).

Entretanto, pode não ser suficientemente conveniente ter a eficiência entálpica de um processo como indicador de EE. Numa primeira análise, isso pode ocorrer porque a maioria dos processos não fornece energia como produto ou serviço final. Assim, medir a energia útil e potencial armazenada em determinado processo não necessariamente conta quanto o processo é eficiente para produzir determinado bem ou serviço.

Em uma segunda análise há também o fato de que a qualidade da energia não é considerada. Ou seja, sob a perspectiva dos indicadores puramente energéticos não há distinção entre, por exemplo, ter uma baixa eficiência energética pelo uso da energia elétrica, uma fonte energética muito produtiva e com grande aplicabilidade, e carvão vegetal, que por outro lado tem poder calorífico limitado e grande geração de resíduo (Patterson, 1996).

5.2.2 Indicadores físico-energéticos

A limitação dos indicadores energéticos em não retratar a eficiência na produção de um bem ou serviço não energético pode alternativamente ser resolvida inserindo uma unidade física no indicador. Este indicador deverá então fornecer quantidade de produtos ou bens produzidos com uma unidade de energia. Alternativamente, é possível também considerar como indicador a quantidade de energia necessária para produzir uma unidade do bem ou serviço desejado, como feito por Kissock e Eger (2008) em seu estudo de caso na indústria de equipamentos elétricos que considerou GJ/dia como indicador.

Outra vantagem desse tipo de indicador é sua resiliência às mudanças em ambientes econômicos. Esse indicador pode ser comparado sem problemas entre várias unidades de uma indústria em vários países sem armadilhas econômicas. São indicadores comumente utilizados nas indústrias ton/BEP, galões/MWh, litros de diesel/ton-km, etc.

Entretanto, há algumas questões metodológicas que podem dificultar a aplicação desse indicador nas indústrias. Naquelas que têm em seus portfólios muitos produtos e as medições de energia não estão harmonizadas por produto, deverá haver dificuldade em alocar as quantidades de energia que estão sendo utilizadas para produzir cada produto. Uma indústria de tinta automotiva, por exemplo, além de produzir galões de tinta, pode produzir muitas toneladas de resina e vendê-la diretamente no mercado, além daquela necessária para produzir a própria tinta.

Para resolver esse problema, Wu, Chen e Bor (2007) sugerem para o exemplo de uma siderúrgica a determinação de um produto dominante que considere os fatores incluindo máxima produtividade, máximo valor e máximo consumo de energia. Porém, essa escolha nem sempre é trivial ou mesmo possível.

5.2.3 Indicadores econômico-energéticos

Os indicadores econômico-energéticos são uma sofisticação dos indicadores físico-energéticos onde no lugar de fornecer quantidade deverá fornecer o valor monetário de produtos ou bens produzidos com uma unidade de energia. Sob a perspectiva financeira parece uma boa opção porque com esse tipo de indicador é possível monitorar diretamente o desempenho financeiro de um projeto ou MCE. Mas como é lembrado por Patterson (1996), esse indicador não mede tecnicamente a eficiência energética. Ou seja, fatores econômicos, substituição de energia por mão de obra, mudança no mix de fontes de energia, etc., devem afetar esse indicador.

Esses indicadores são particularmente úteis para comparação entre países para a determinação, por exemplo, do local para instalar uma nova unidade, uma vez que indicam a eficiência econômica de um determinado processo sob a perspectiva do consumo de energia. Porém, Phylipsen, Blok e Worrell (1997) alertam sobre a dependência do consumo de energia sobre a estrutura do setor em comparação:

Desde que o consumo específico de energia depende da estrutura do setor, comparações entre países não podem ser feitas baseadas somente sobre tendências em valor absoluto do indicador de eficiência energética para cada país individual. (Phylipsen, Blok e Worrell , 1997, p.718, tradução nossa)

Eles sugerem então a utilização de níveis de agregação para comparação do setor como um todo, e de desagregação para estabelecimento dos indicadores em que cada setor deverá haver a separação do processo em seus componentes principais e os mesmos serão comparados entre si, onde for possível.

5.2.4 Indicadores Econômicos

Os indicadores econômicos refletem tanto o custo do produto ou serviço gerado quanto da energia dispendida em valores monetários. Os indicadores econômico-energéticos e físico-energéticos resolveram o principal problema dos indicadores puramente energéticos, ou seja, não retratar a eficiência na produção de um bem ou serviço não energético. Mas por outro lado apenas os indicadores econômicos resolvem a questão da qualidade da energia levantada anteriormente. Isso ocorre porque o custo da energia considerado no cálculo do indicador já reflete os

custos e ineficiências na transformação de uma fonte de energia de baixa qualidade em fonte de energia de alta qualidade.

O uso desse tipo de indicador cria por outro lado a possibilidade de haver assimetrias em países onde uma determinada fonte é subsidiada ou naturalmente de baixo custo. Na Bolívia, por exemplo, segundo a IEA em 2006 o gás natural custava 73,35 Dólares/10⁷ kcal (GCV) para a indústria enquanto que no Brasil 494,46 Dólares/10⁷ kcal (GCV) (IEA, 2006). Assim, comparações entre os dois países segundo indicadores econômicos em processos que façam uso de quantidades significativas de gás natural apresentariam grande distorção.

5.3 Regressão multivariável

Outro tema que demanda bastante atenção do líder de EE na execução do plano de M&V é a determinação do modelo de linha de base. Considerando que os indicadores já foram selecionados é o momento de determinar quais variáveis têm influência significativa no consumo de energia. KISSOCK e EGER (2008) mencionam que em linhas gerais os diversos protocolos de medição e verificação existentes sugerem o uso da regressão multivariável como método para determinação do modelo. Propõem ainda um modelo de regressão multivariável considerando como variáveis independentes as condições climáticas e a produção que afetam o uso da energia nos dois estudos de caso discutidos em (KISSOCK e EGER, 2008) e assim fazem uso da Equação 6 e Equação 7:

$$E_R = \beta_1 + \beta_2 \cdot (T - \beta_3)^+ + \beta_4 \cdot P \quad (6)$$

$$E_A = \beta_1 - \beta_2 \cdot (\beta_3 - T)^+ + \beta_4 \cdot P \quad (7)$$

Onde:

- a. E_R : Energia de resfriamento;
- b. E_A : Energia de aquecimento;
- c. β_1 : Termo constante;

- d. β_2 : Coeficiente dependente da variação de temperatura;
- e. β_3 : Ponto de ajuste do termostato;
- f. β_4 : Coeficiente dependente da produção;
- g. P: Quantidade de produção;
- h. $^+$: O sinal + no expoente dos termos $(T - \beta_3)$ e $(\beta_3 - T)$ indica que os mesmos devem ser zero quando o resultado for negativo.

Em uma indústria de equipamentos elétricos Kissock e Eger (2008) comparam o consumo de energia antes e depois de uma reforma que teve como resultado uma melhoria global na EE. O resultado dessa comparação pode ser visualizado na Figura 12 a seguir:

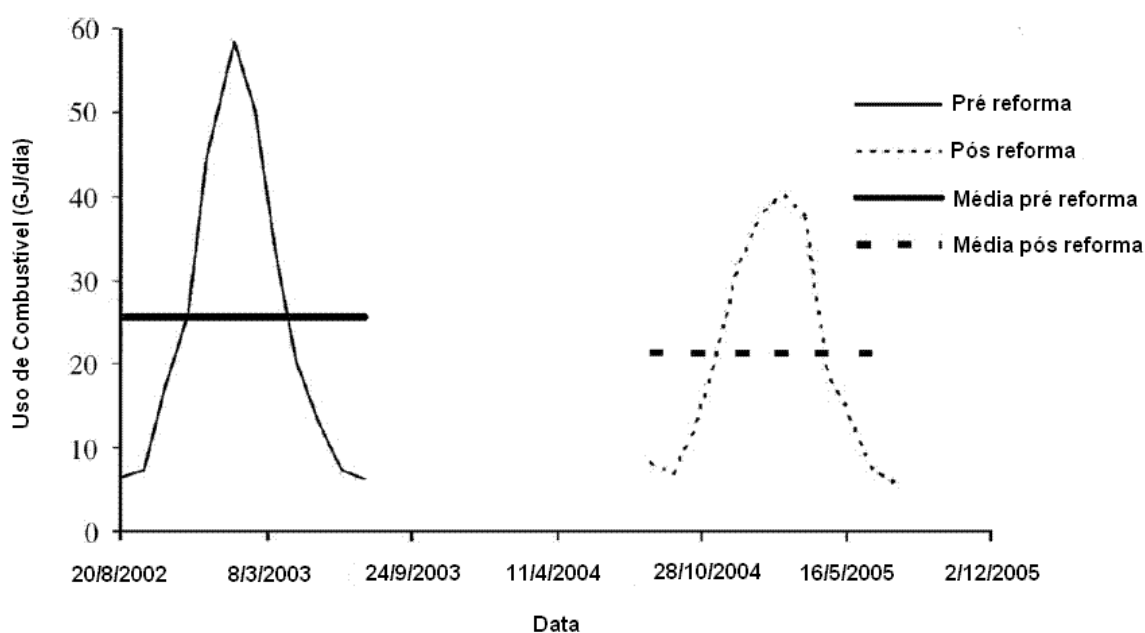


Figura 12 – Comparação pre e pós reforma do consumo de combustível (Diesel/Gás Natural) durante dois ciclos inteiros

Fonte: Kissock e Eger, 2008, p. 354, Tradução nossa

É importante notar que o consumo pré reforma está associado à mesma produção considerada no período pós reforma. Ou seja, é a energia que a indústria teria consumido para produzir com o nível de produção atual, mas com a eficiência pré reforma. Ainda de acordo com Kissock e Eger (2008), esse método foi incorporado em diversos softwares para determinação de economia de energia como *ASHRAE Inverse Modeling Toolkit*, software que dá suporte ao ASHRAE Guideline 2002-14,

ETracker, software que suporta o Energy Star Buildings Program (EPA, 2006), entre outros.

6 CONCLUSÕES

Desde a década de 70 se discute o conceito de gerenciamento pelo lado da demanda (GLD) como alternativa para otimização da curva de carga e conseqüentemente otimização dos investimentos em geração. Campos (2004) definiu GLD como intervenções deliberadas de uma empresa de energia elétrica no mercado consumidor (demanda), com o intuito de promover alterações no perfil e na magnitude da curva de carga.

Mais recentemente o conceito de GLD, antes restrito à relação de uma empresa de energia com um mercado consumidor, tornou-se mais amplo incluindo novos atores envolvidos e interessados, e, além disso, incluiu novos usos finais e insumos energéticos. O GLD, fator essencial para eficiência energética, passou então a demandar maior rigor nos cálculos e estimativas de economia com a entrada do recurso privado como fonte de investimento nas MCEs.

Para atender as expectativas do capital privado o cálculo não fundamentado da energia economizada não seria mais uma opção. Assim os protocolos de M&V entram na agenda de políticas e projetos de eficiência energética com importância ímpar pela sua capacidade de dar credibilidade aos números mostrados em estudos. Os protocolos de M&V padronizam a forma de calcular a energia economizada conferindo credibilidade na apuração dos resultados. Eles tornam possível o real acompanhamento do desempenho das MCEs e dão mais segurança para o investidor que o seu investimento será remunerado.

Os protocolos publicados pelo EVO e ASHRAE são as referências mais atuais, na ocasião desse trabalho, quando se fala de projetos de eficiência energética e são extensamente citados na literatura mais recente de projetos de eficiência energética. Uma significativa contribuição dos protocolos de M&V é focar na gestão, sustentabilidade e confiabilidade da economia atingida, que até então era preterida pelos refinamentos das MCEs.

Se comparados com publicações anteriores, os protocolos IMPVP (2007) e ASHRAE (2002) são sofisticadas publicações que têm auxiliado os praticantes de EE na determinação da energia economizada. A partir do conhecimento prático, a revisão exaustiva dos guias de referência e análise de estudos de caso conclui-se que há um

vácuo que pode ser preenchido pela metodologia proposta. Além disso, algumas oportunidades de melhoria puderam ser identificadas e aqui estão resumidas:

- a. Elaborar um roteiro de aplicação do ASHRAE 14-2002 minimizando o evidente isolamento entre os capítulos, apesar de haver referência entre capítulos. Atualmente há informações repetidas com níveis de detalhes diferentes que dificultam a aplicação do mesmo;
- b. Estender detalhamento dos exemplos do IPMVP (2007) que não contêm as tabelas com os dados para exercício próprio do engenheiro de eficiência energética e o desenvolvimento de um roteiro para utilização do protocolo;
- c. Incluir processo diagnóstico de oportunidades em uma instalação. O objetivo desse diagnóstico é identificar e quantificar os maiores potenciais de economia e precisa ser conduzido antes do início de qualquer MCE;
- d. Ambos os guias não atentam à necessidade de realizar auditorias na linha de Base. Apesar de haver menção de que alterações precisam ser documentadas e incorporadas como ajustes na determinação da energia economizada, os guias partem do pressuposto de que essas alterações são imediatamente consideradas em um processo confiável, o que em grande parte das vezes não acontece de fato;
- e. A abordagem de exemplos para simulação calibrada é negligenciada no ASHRAE 14-2002. O engenheiro de eficiência energética que pretende avaliar o uso da simulação calibrada deverá buscar por literatura adicional para um maior entendimento. Faltam também sugestões de softwares a serem utilizados.

Da análise dos estudos de caso e revisão bibliográfica observou-se que há dificuldade pelos engenheiros de EE em implementar os protocolos. Jump e Stetz (2000) na sua análise de sete instalações do governo dos EUA puderam capturar diversas dificuldades que os praticantes de EE enfrentam na definição do plano de M&V fazendo-os tomarem decisões equivocadas que tiveram impactos futuros na determinação da energia economizada.

A simples implementação de MCEs mesmo que estejam em conformidade com os protocolos de medição e verificação é insuficiente para garantir a sustentabilidade da energia economizada se não houver evidente integração da eficiência energética no processo de gestão da organização.

A sugestão para desenvolvimentos futuros é o detalhamento e aplicação da metodologia de gestão sustentável de eficiência energética proposta. A aplicação desse tipo de metodologia deve evitar ou pelo menos minimizar que a energia economizada seja substituída por novas ineficiências provocando a contabilização de economias superestimadas ou mesmo irreais.

7 REFERÊNCIAS

- [1] Lucon, O.; Coelho, S. Depois da Rio + 10: As lições aprendidas em Joanesburgo. **Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo**, n.15, 2002. São Paulo, 2002.
- [2] Garcia, A. G. P. **Leilão de eficiência energética no Brasil**. 2008. 185 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- [3] Wu, L. M.; Chen, B. S.; Bor, Y. C.; Wu, Y. C. Structure model of energy efficiency indicators and applications. **Energy Policy**, n. 35, p. 3768–3777, 2007. Elsevier.
- [4] Patterson, M. G. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues. **Energy Policy**. vol. 24, n. 5, pp. 377–390.1996. Elsevier.
- [5] Eichhammer, W.; Mannsbart, W. Industrial energy efficiency - Indicators for a European cross-country comparison of energy efficiency in the manufacturing industry. **Energy Policy**, vol. 25, n. 7-9, p. 759-772, 1997. Elsevier.
- [6] Tanaka, K. Assessment of energy efficiency performance measures in industry and their application for policy. **Energy Policy**, n. 36 p. 2887– 2902, 2008. Elsevier.
- [7] Phylipsen, G. J. M.; Blok, K.; Worrell, E. International comparisons of energy efficiency-Methodologies for the manufacturing industry. **Energy Policy**, vol. 25, n. 7-9, p. 715-725, 1997. Elsevier.
- [8] Cicone, Jr. D.; Leite, F. C.; Grimoni, J. A. B.; Udaeta, M. E. M. Atratividade Financeira e Tomada de decisão em Projetos de Eficiência Energética. **Revista Brasileira de Energia**, vol. 13, n. 2, 2007. SBPE.
- [9] EFFICIENCY VALUATION ORGANIZATION. **International Performance Measurement and Verification Protocol**. Concepts and options for determining energy and water savings, vol. I, 2007. Disponível em: <<http://www.evo-world.org/>>. Acesso em: out. 2008.

- [10] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ASHRAE Guideline 14-2002**: Measurement of Energy and Demand Savings, 2002, Atlanta, GA.
- [11] _____. **ASHRAE Standard 90.1**: Energy standard for buildings except low rise residential buildings, 2004, Atlanta, GA.
- [12] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Resolução Normativa nº 300/2008. **Critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética**. Brasília-DF: ANEEL, 12 fev. 2008a.
- [13] _____. **Manual para elaboração do programa de eficiência energética**. Ciclo 2008. Brasília – DF: ANEEL, 2008b.
- [14] _____. Resolução Normativa nº 492/2002. **Critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética**. Brasília-DF: ANEEL, 3 set. 2002a.
- [15] _____. **Manual do Programa de Eficiência Energética**. Ciclo 2002/2003. Brasília – DF: ANEEL, 2002b.
- [16] _____. Resolução Normativa nº 456/2000. **Condições Gerais de Fornecimento de Energia Elétrica**. Brasília-DF: ANEEL, 29 nov. 2000.
- [17] Kissock, J. K.; Eger, C. Measuring industrial energy savings. **Applied Energy**, n. 85, p. 347–361, 2008. Elsevier.
- [18] Groot, H. L. F.; Verhoef, E. T.; Nijkamp, P. Energy saving by firms: decision-making, barriers and policies. **Energy Economics**, n.23, p717-740, 2001, Elsevier.
- [19] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. ENERGY Prices & Taxes Quarterly statistics, 3rd Quarter 2008, OECD, 2008.
- [20] Dutta, S. K. Examples and Case Studies of Energy Efficiency Projects in India. **Energy Engineering**, vol. 99, n. 1, p. 32–49, 2002. The H.W. Wilson Company.
- [21] Ramos, M. C. E. S.; Tatizawa, H. Metodologia para avaliação e otimização de motores elétricos de indução visando a efficientização e conservação de energia no âmbito industrial brasileiro. **IEEE – I PCIC BR Petrochemical and Chemical Industry Conference Brazil 2006 – Anais do Congresso trabalho n. PCIC BR-2006-12**.

- [22] ESTADOS UNIDOS. Department of Energy – DOE. **Industrial Technologies Program**, disponível em: <<http://www1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/assessments.html>>. Acesso em: set. 2008.
- [23] _____. **Industrial Assessment Centers best practices**. Disponível em: < <http://www1.eere.energy.gov/industry/bestpractices/iacs.html>>. Acesso em: nov. 2009.
- [24] ESTADOS UNIDOS. Environmental Protection Agency, **Energy Star Buildings Program**, 2006.
- [25] Haberl, J. S.; Culp C.; Claridge. ASHRAE's GUIDELINE 14-2002 FOR MEASUREMENT OF ENERGY AND DEMAND SAVINGS: HOW TO DETERMINE WHAT WAS REALLY SAVED BY THE RETROFIT. **Proceedings of the Fifth International Conference for Enhanced Building Operations**, Pittsburgh, Pennsylvania, October 11-13, 2005.
- [26] Silva, L. M. Cláusulas *take-or-pay* em contratos de gás, **Valor Econômico** , 3 fev. 2005, Hemeroteca do Instituto de Eletrotécnica e Energia, Nº 85565, Disponível em: <<http://infoener.iee.usp.br/infoener/hemeroteca/imagens/85565.htm>>. Acesso em: nov. 2009.
- [27] Naughton, K. Toyota Triumphs. **Newsweek magazine**, 9 maio 2005, Disponível em: <<http://www.newsweek.com/id/51937>>. Acesso em: nov. 2009.
- [28] Vinea, E.; Hamrin J. Energy savings certificates: A market-based tool for reducing greenhouse gas emissions. **Energy Policy**, n. 36, p. 467–476, 2008. Elsevier.
- [29] THE INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE 739 Std**: IEEE Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities. Industry Applications Society. New York,1995. 297 p.
- [30] Cleland D.I. Leadership and the project management body of knowledge, **International Journal of Project Management**, n. 2, vol. 13, p. 83–88, 1995. Elsevier.
- [31] INSTITUTE OF INTERNATIONAL EDUCATION. **Best Practices Guide: Economic and Financial Evaluation of Energy Efficiency Projects and Programs**. Disponível em: <<http://www.iie.org/programs/energy>>. Acesso em: nov. 2009.

- [32] Jump, D.; Stetz, M. **Initial Application of the FEMP M&V Guidelines in Super ESPC Delivery Orders - Final Report**. National Renewable Energy Laboratory, Colorado, 2000. Disponível em: < <http://www.nrel.gov/docs/fy00osti/28785.pdf>>. Acesso em: nov. 2009.
- [33] Lawrence Berkeley National Lab. **Energy Efficient Design Applications**. Disponível em: <<http://ateam.lbl.gov/mv/index.htm>>. Acesso em: nov. 2009.
- [34] Russell, C. Strategic Industrial Energy Efficiency: Reduce Expenses, Build Revenues and Control Risk. **Energy Engineering**, n. 3, vol. 102, p. 7–27, 2005. H.W. Wilson Company.
- [35] Higgins, R. C. **Analysis for Financial Management**. McGrawHill, New York, 2007, 431 p.
- [36] Clinch, J. P.; Healy, J. D. Cost-benefit analysis of domestic energy efficiency. **Energy Policy**, n. 29, p.113–124, 2001. Elsevier.
- [37] Simpson, D.; Walker, J. Extending cost-benefit analysis for energy investment choices. **Energy Policy**, n. 3, vol. 15, p. 217–227, 1987.
- [38] BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego – MTE. Portaria GM n.º 598, de 07 de dezembro de 2004. **NR 10 – SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE**. Atualização portaria GM n.º 484, de 09 de novembro de 2005. 2005.
- [39] Oliveira, M. F.; Queiroz, A.R.S.; Kalb H.C. **Adequação à NR-10: estudo comparativo entre unidades de produção antigas e novos projetos**. Artigo apresentado no III ESW Brasil 2009. Blumenau, 2009.
- [40] Haddad, J. Lei de eficiência energética e o estabelecimento de índices mínimos de eficiência energética para equipamentos no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, vol. 11, n. 1, 2005. SBPE.
- [41] Morales, C. **Indicadores de consumo de energia elétrica como ferramentas de apoio a gestão: Classificação por prioridades de atuação na Universidade de São Paulo**. 2007. 114 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- [42] Ramos, M. C. E. S. **Metodologia para avaliação e otimização de motores elétricos de indução trifásicos visando à conservação de energia em aplicações industriais**. 2009. 223 p. Tese (Doutorado) – Programa

Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

- [43] _____. **Implementação de motores de alto rendimento em uma indústria de alimentos**. 2009. 223 p. Dissertação (Mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- [44] Campos, A. **Gerenciamento pelo lado da demanda: um estudo de caso**. 2004. 94p. Dissertação (mestrado) – Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- [45] Pan, Y.; Huang, Z.; Wu, G. Calibrated building energy simulation and its application in a high-rise commercial building in Shanghai. **Energy and Buildings**, n. 39, p. 651–657, 2007. Elsevier.
- [46] Monachesi, M. G.; Monteiro M. A. G. **Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento**, Manual Prático PROCEL, 2008. 103p.
- [47] Menezes, T. V.; Machado, L. D. L.; Barreto, M. P.; Barros, D. P.; Pinheiro M. G.; Moreira, M. A. R. G.; Capella, P. S.; Otero, O. L. C.; Perrone F. P. D.; Soares G. A.; Glória D. N. R. **Avaliação de projeto de eficiência energética envolvendo qualidade de energia: Estudo de caso COMUSA**. XIX SNPTEE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica - Rio de Janeiro, 2007.
- [48] PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Guia de Medição e Verificação**. 2007. Disponível em: <<http://www.elektrobras.com/pci/guiaMV/>>. Acesso em: jun. 2008.
- [49] THE GREENHOUSE GAS PROTOCOL INITIATIVE. **The GHG Protocol for Project Accounting**. 2005. Disponível em: <http://www.ghgprotocol.org/files/ghg_project_protocol.pdf>. Acesso em: out. 2009.

Referências na Internet

- [50] INDEPENDENT PROJECT ANALYSIS INC. Website: <<http://www.ipaglobal.com/>>. Acesso em: nov. 2009.

- [51] CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS - CPTEC/INPE. Website: <<http://bancodedados.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: nov. 2009.
- [52] SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Banco de dados. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: ago. 2008.
- [53] AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. Website: <<http://www.ashrae.org/>>. Acesso em: nov. 2009.
- [54] PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. Website: <www.eletronbras.gov.br/procel/>. Acesso em: nov. 2009.

Anexo A – Lista de Verificação de Oportunidades de Conservação de Energia

Fonte: IEEE 739 (1995), p.14, tradução nossa

Iluminação

O primeiro item que requer atenção é a iluminação devido à sua visibilidade. Antes de realizar mudanças, leia o Capítulo 7 do IEEE 739 (1995). Tarefas-chaves ao analisar e considerar a iluminação através de um ponto de vista conservador estão relacionadas abaixo. É importante realizar checagens tanto durante o dia, como à noite.

- A intensidade da iluminação é suficiente para a tarefa?
- A luminária é apropriada para direcionar a iluminação para o local onde ela é requerida?
- A reflexão é boa?
- A cor é correta para a tarefa?
- A luminária está muito alta ou muito baixa?
- A iluminação setorial pode ser usada com eficiência?
- É satisfatório realizar com a luz natural disponível?
- As máquinas ou mesas podem ser agrupadas pela iluminação setorial requerida?
- As lâmpadas e luminárias são limpas periodicamente?
- As luzes ficam apagadas quando estão fora de uso?
- Quantas luminárias podem ser desligadas por um único interruptor?
- Quem apaga as luzes?
- Quem utiliza o espaço e com que frequência?
- Uma lâmpada de baixa potência pode ser usada na luminária?
- As superfícies refletem ou absorvem a luz?
- As luminárias estão localizadas estrategicamente?
- A localização da luminária causa ofuscamento?
- A iluminação pode ser usada para aquecer?
- Fontes de luz mais eficientes podem ser utilizadas?

- Fotocélulas ou temporizadores podem ser utilizados eficientemente?

Aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC)

- Fatores chave para avaliar e utilizar melhor o sistema de HVAC são relacionados a seguir:
 - o Há obstruções no sistema de ventilação?
 - o Os filtros, haletas dos radiadores e serpentinas necessitam de limpeza?
- Os dutos, *dampers* ou passagens e grelhas estão entupidos?
 - o Há uma quantidade incorreta de ar sendo gerada várias vezes?
 - o Há *dampers* emperrados?
 - o O volume de exaustão ou consumo é muito baixo ou muito alto?
- Todos os *dampers* estão funcionando da maneira mais eficiente?
- O sistema pode exaurir somente a área que necessita de ventilação?
- O sistema pode consumir apenas a quantidade requerida?
- O ar pode ser reciclado em vez de ser exaurido?
- A exaustão ou consumo podem ser fechados quando o ambiente está desocupado?
- O sistema pode ser desligado à noite?
- A temperatura está adequada para o uso da área?
- A temperatura de retorno pode ser utilizada eficientemente?
- Uma unidade de velocidade ajustável pode ser mais eficiente?
- Quantas luminárias podem ser desligadas por um único interruptor?
- A energia solar está sendo utilizada de forma eficiente?
 - o Luz, mas mínimo aquecimento no verão
 - o Luz e aquecimento no inverno
- O desperdício de calor pode ser utilizado?
- As correias estão bem esticadas?
- As polias e os inversores estão apropriadamente lubrificados?
- O refrigerante é apropriado?
- O calor pode ser redirecionado?
- O sistema apropriado está sendo utilizado?
- Há muito pouca ventilação ou ventilação demasiada?
- O ambiente natural pode ser utilizado de forma mais eficiente?

- As portas, janelas ou outras aberturas estão deixando sair calor considerável?
- Os isolamentos, calafetagens ou outros vazamentos podem ser reparados?
- Isolamento adicional pode ser justificado?
- Todos os sistemas de exaustão de capelas podem ter seu próprio suprimento de ar ou eles podem ser utilizados como parte da exaustão requerida para o edifício?
- A ventoinha roda em ciclos ou o faz continuamente?

Motores e inversores

Considerando que os motores utilizam cerca de 70% da energia elétrica consumida nos Estados Unidos, eles oferecem grandes oportunidades para reduzir o desperdício de energia. As questões a seguir apontam tipos muito comuns de desperdício:

- O motor atende a carga?
- O motor pode ser desligado e então reiniciado em vez de ficar ocioso?
- O processo motorizado é de fato necessário? Pode ser feito manualmente?
- Quem lubrifica o motor e os inversores? Isso é realizado os intervalos apropriados?
- O calor do motor pode ser reciclado?
- Que tipo de inversor é utilizado? Ele é o mais eficiente?
- Qual é a tensão? Ela está balanceada?
- O motor pode ser limpo para menor acúmulo de calor?
- Como a carga é ajustada?
- Dois ou mais motores em conjunto funcionam melhor?
- O motor tem boa manutenção e está em boas condições? Há alguma fuga de energia para o solo? O motor está em uma superfície molhada?
- Quem liga e desliga o motor? Com que frequência?
- Quão eficiente é o motor?

Processos

Normalmente os processos dependem fortemente dos motores, mas há outras cargas elétricas. O aquecimento de processo é provavelmente o mais comum uso depois dos motores. As questões a seguir apontam áreas onde melhorias de eficiência podem ser realizadas:

- Os equipamentos ou processos podem ser agrupados para eliminar o transporte de equipamentos ou materiais em um processo?
- A temperatura está muito alta?
- Há fuga de calor? O isolamento pode ser utilizado de forma efetiva?
- A energia de aquecimento pode ser recirculada para conforto, aquecimento de processo ou co-geração? Ela pode ser exaurida para conforto no verão?
- O pré-aquecimento é requerido?
- O processo pode ser organizado em etapas ou intertravado?
- O produto é aquecido, resfriado e reaquecido novamente? Em caso afirmativo, um processo contínuo deve ser apropriado.
- Os processos podem ser alinhados para uso mais efetivo do equipamento?
- Os inversores, rolamentos, etc. estão corretamente lubrificados?
- O sistema de transportador pode ser eliminado ou modificado?
- As áreas quentes podem ser isoladas das áreas frias?
- É melhor ter um grande motor ou vários pequenos motores?
- Qual equipamento pode ser desligado à noite?
- Dois ou três turnos poderiam ser mais eficientes?
- Há algum equipamento sendo mantido ocioso em vez de ser desligado quando está em espera?
- As grelhas são limpas e os *dampers* são checados para operação apropriada de controle da poluição? Eles sofrem manutenção em intervalos apropriados?
- O ar comprimido é produzido em duas ou três etapas? Há um tanque de armazenagem sendo utilizado? A pressão é muito alta?
- A água de processo é muito quente?
- O líquido pode ser recirculado?
- O líquido resfria muito?
- O aquecedor de água está próximo de onde a água quente é necessária?

- O processo de exaustão é maior que o requerido para segurança e qualidade, ou ambos?
- A tubulação quente e fria está isolada onde apropriado?
- A temperatura está controlada e, portanto, somente calor necessário é adicionado?
- O calor é fornecido ou adicionado no ponto de utilização ou é transmitido por alguma distância?

Outros equipamentos elétricos

Há uma quantidade significativa de equipamentos elétricos que são esquecidos ou raramente notados. A lista a seguir contém algumas questões chaves relacionadas à eficiência.

- Todos os transformadores são necessários?
- O transformador está muito quente?
- O transformador pode ser desligado quando está fora de uso?
- As conexões dos cabos estão firmes? (Tensão inapropriada, tensão desbalanceada e calor em excesso podem ser resultantes de uma conexão ruim)
- O calor da sala elétrica pode ser utilizado? (Remova esse calor durante o verão)
- Os *taps* estão nas posições apropriadas?
- Os aquecedores são apropriadamente aplicados?
- Os aquecedores podem ser desligados algumas vezes?
- Os contadores estão em perfeito funcionamento?
- Os equipamentos estão conectados e aterrados apropriadamente?
- O dimensionamento dos condutores está apropriado para a carga?
- O fator de potência é excessivamente baixo?

Construção protetora do ambiente

A lista a seguir é aplicável a edifícios aquecidos eletricamente e também onde outras fontes de energia são utilizadas.

- Há um vão para a transição das áreas frias para as áreas quentes e vice-versa com uma cortina de ar ou vestíbulo?
- Um *brise* pode manter a infiltração de ar baixa?
- É aplicado um grau apropriado de isolamento?
- É possível extrair vantagem do calor solar? (Remover calor solar no verão)
- A porta automática está fechando apropriadamente?
- As áreas cobertas de carga e descarga podem ser utilizadas para manter o calor?
- É possível calafetar, isolar, envidraçar ou fechar janelas?
- Pode ser utilizado um painel duplo ou triplo de vidros?
- Uma pequena pressão positiva pode ser utilizada para manter fora o ar frio?
- As áreas podem ser organizadas progressivamente seguindo critérios de mais frias ou mais quentes?
- Uma tela de ar ou um radiador de calor seriam mais efetivos?
- Há isolamento nas portas das docas?