

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

**Desenvolvimento de um Guia de Medição e
Verificação do Desempenho Energético**

Tiago José de Castro Guedes Lopes Armando

VERSÃO FINAL

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Dr. Cláudio Domingos Martins Monteiro

Julho de 2011

© Tiago José de Castro Guedes Lopes Armando, 2011

Resumo

O apelo ao uso racional de energia tem-se tornado cada vez mais evidente, o que implica muitas vezes a necessidade de substituição de equipamentos e de uma monitorização permanente nas instalações. Com base nesta metodologia surgiram assim as medidas de racionalização de energia (MRE). A implementação destas medidas requer obviamente um investimento inicial onde nem sempre as empresas possuem a capacidade financeira ou técnica de realizar. Desta forma, surgem os contratos de desempenho energético (CDE) para as medidas de racionalização de energia (MRE) entre uma empresa de serviços de energia (ESE) e a entidade contratante (cliente - proprietário duma instalação).

A implementação destas medidas tem impacto no uso eficiente da energia numa instalação e reflectem-se em grande parte nas poupanças energéticas. A remuneração que a entidade contratante paga à empresa de serviços energéticos (ESE) provém das poupanças energéticas com origem após a implementação das medidas.

A Medição e Verificação (M&V) é uma questão fundamental na concepção dos contratos de desempenho energético (CDE), visto que, permite a determinação das poupanças com precisão, aumentando assim os níveis de confiança das medidas de racionalização de energia (MRE) e do contrato estabelecido.

O Guia de Medição e Verificação (M&V) que será apresentado ao longo desta dissertação foi criado com base em conceitos já existentes no Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho (IPMVP - *International Performance Measurement and Verification Protocol*), no entanto, muitas das metodologias foram aprofundadas e detalhadas numa perspectiva de mais fácil e clara aplicação prática. Este guia foi criado seguindo os pontos descritos em Diário da República no Artigo 1.º do Decreto-Lei n.º 29/2011, de 28 de Fevereiro, onde é evidenciado o facto de ser necessário definir um “Guia de Medição e Verificação” a nível nacional na elaboração de Planos M&V aplicados em projectos de eficiência energética nas instalações.

No âmbito desta dissertação, foram explorados os conceitos e princípios relacionados com a Medição e Verificação (M&V), os procedimentos necessários à contratualização dos CDE, bem como o desenvolvimento do “Guia de Medição e Verificação”.

Palavras-chave:

CDE, Eficiência energética, ESE, Guia de Medição e Verificação, MRE, Medição & Verificação

Abstract

The appeal to the rational use of energy has become increasingly evident, which means often the need to replace equipment and a permanent monitoring of the facility. Based on this methodology, the energy conservation measures (ECM) appeared. These measures will obviously require an initial investment, where companies do not often have the financial ability or technique to accomplish. Thus, the energy performance contracting (EPC) for energy conservation measures (ECM) appeared between an energy service company (ESCO) and the contracting party (client - owner of a facility).

The implementation of these measures has an impact on energy efficiency in a facility and is reflected largely in the energy savings. The remuneration paid by the contracting party to the energy service company (ESCO) comes from energy savings after the implementation of the measures.

The Measurement and Verification (M&V) is a key issue in the design of energy performance contracting (EPC), since it allows the determination of savings accurately, thereby increasing the confidence levels of the energy conservation measures (ECM) and the established contract.

The Guide to Measurement and Verification (M&V) which will be presented throughout this dissertation was created based on existing concepts in the Protocol International Performance Measurement and Verification (IPMVP - International Performance Measurement and Verification Protocol), however, many methodologies were thoughtful and detailed in a perspective of more clear and easy implementation. This guide was created following the points described in the “Diário da República no Artigo 1.º do Decreto-Lei n.º 29/2011, de 28 de Fevereiro”, where it is underlined the need to define a “Measurement and Verification Guide” at national M&V Plans applied to energy efficiency projects in facilities.

Within this dissertation, were explored concepts and principles related to the Measurement and Verification (M&V), the procedures for contracting of the EPC as well as the development of the “Measurement and Verification Guide”.

Keywords:

EPC, Energy Efficiency, ESCO, Measurement and Verification Guide, ECM, Measurement & Verification

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer ao meu orientador, Professor Doutor Cláudio Domingos Martins Monteiro, por todo o seu apoio, disponibilidade e palavras de incentivo nos momentos mais difíceis que foram determinantes durante toda a realização da dissertação.

Aos meus pais, muito obrigado por tudo. Obrigado por investirem em mim, na minha formação e por terem sempre acreditado nas minhas capacidades.

Ao meu irmão e cunhada, por partilharem comigo os seus conhecimentos.

Por último, quero agradecer aos meus amigos pelos bons e maus momentos que passamos nesta faculdade, pela ajuda e o apoio no meu percurso académico.

Tiago José de Castro Guedes Lopes Armando

“Somos aquilo que fazemos de forma repetida.
Por isso, a excelência não é um acto, mas um hábito.”

Aristóteles

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	xi
Lista de figuras	xv
Lista de tabelas	xvii
Abreviaturas e Símbolos	xix
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Motivação	2
1.3. Objectivos.....	3
1.4. Estrutura	3
Capítulo 2	5
Estado da Arte.....	5
2.1. Medição e Verificação (M&V)	5
2.2. Protocolos da M&V.....	6
2.3. Princípios da M&V.....	7
2.4. Requisitos da M&V	7
2.5. Problemas na responsabilidade do contrato	8
2.6. Procedimento genérico da M&V	12
2.6.1. Período de consumo de referência	14
2.6.2. Período de reporte	14
2.6.3. Fronteira de Medição	15
2.7. Actividades da M&V	15
2.8. Detalhes das actividades da M&V	16
2.8.1. Especificações do Plano M&V.....	17
2.8.2. Início das actividades M&V e implementação das MRE	18
2.8.3. Relatório de pós-implementação do projecto.....	18
2.8.4. Relatório Anual	19
2.9. Preparação do Plano M&V	19
2.9.1. Medição	20
2.9.2. Detalhes do Plano M&V	20

2.9.2.1.	Plano M&V - Descrição dos pontos essenciais	21
2.9.3.	Efeitos interactivos	23
2.9.4.	Cálculo dos custos de energia	23
2.10.	Particularidades do IPMVP	24
2.10.1.	Plano M&V	24
2.10.2.	Seleccção de uma abordagem M&V	24
2.10.3.	Determinação das poupanças	25
2.11.	Opções do IPMVP - Visão Geral	26
2.11.1.	Opção A e B: Medição isolada da MRE	27
2.11.1.1.	Opção A: medição dos parâmetros chave	27
2.11.1.2.	Opção B: medição de todos os parâmetros.....	28
2.11.2.	Opção C: Toda a instalação	28
2.11.3.	Opção D: Simulação calibrada	29
2.11.4.	Determinação da melhor opção do IPMVP	31
2.12.	Contratos de desempenho energético	32
2.13.	Incerteza na M&V	35
Capítulo 3	37
Guia de Medição e Verificação		37
3.1.	Definição de fronteiras	37
3.1.1.	Definição da fronteira de medição.....	38
3.1.1.1.	Caracterização das unidades de medição de variáveis de fluxo	41
3.1.1.2.	Caracterização dos circuitos de fluxo energético	44
3.1.1.3.	Caracterização da fronteira de medição.....	47
3.1.2.	Definição da fronteira de utilização	48
3.1.2.1.	Correspondência entre a fronteira de utilização e a fronteira de medição	48
3.1.2.2.	Caracterização de sistemas de consumo.....	49
3.1.2.3.	Caracterização das unidades de medição de variáveis de estado	49
3.1.2.4.	Caracterização dos utilizadores da zona.....	51
3.2.	Caracterização das variáveis	52
3.2.1.	Variáveis de fluxo	53
3.2.1.1.	Consumo de energia eléctrica	53
3.2.1.2.	Consumo de combustíveis	54
3.2.1.3.	Produção eléctrica.....	54
3.2.1.4.	Produção de água quente.....	54
3.2.1.5.	Produção de vapor	55
3.2.1.6.	Produção de outras formas de calor	55
3.2.2.	Variáveis de estado	55
3.2.2.1.	Emissões de CO ₂	56
3.2.2.2.	Climatológicas	57
3.2.2.3.	Luminosidade	57
3.2.2.4.	Qualidade da electricidade	58
3.2.3.	Variáveis de envolvente.....	60
3.3.	Caracterização dos indicadores	61
3.3.1.	Indicadores de consumo.....	61
3.3.1.1.	Consumo por área	62
3.3.1.2.	Consumo por produção.....	63
3.3.1.3.	Consumo por ocupação.....	64
3.3.1.4.	Consumo por tempo de utilização	65
3.3.1.5.	Consumo por ciclo de utilização.....	67
3.3.1.6.	Consumo por unidade de utilização	68
3.3.1.7.	Consumo por emissões	72
3.3.1.8.	Consumo por produtividade económica	74
3.3.2.	Indicadores de desempenho	79
3.3.2.1.	Indicadores de rendimento.....	79
3.3.2.2.	Indicadores de poupança energética	80
3.3.2.3.	Indicadores de poupança económica	81
3.3.2.4.	Indicadores de valorização de utilização	83

3.4. Caracterização de modelos	84
3.4.1. Modelos de conversões energéticas de unidades	84
3.4.2. Modelos de agregações de consumo	85
3.4.3. Modelos de referência	86
3.4.3.1. Indicadores de consumo como referência	86
3.4.3.2. Padrões de consumo tabelados	87
3.4.3.3. Característica de consumo	88
3.4.3.4. Representação da incerteza	89
3.4.4. Modelos de ajuste	90
3.4.4.1. Modelos de ajuste de alterações da fronteira de utilização	91
3.4.4.2. Modelos de ajuste de variáveis de envolvente	92
3.4.4.3. Modelos de ajuste de alterações da fronteira de medição	92
3.4.4.4. Modelos de ajuste de consistência entre fronteira de utilização e fronteira de medição	93
3.4.4.5. Modelos de ajuste devido a medição contínua	94
3.4.4.6. Modelos de ajuste relativos a referências de variáveis de estado	95
3.4.5. Modelos de desempenho	98
3.4.5.1. Opção MM_P	99
3.4.5.2. Opção ME_P	101
3.4.5.3. Opção EM_P	103
3.4.5.4. Opção EE_P	103
3.4.5.5. Opção MM_T	104
3.4.5.6. Opção ME_T	104
3.5. Procedimentos e definição do período de referência e período de reporte	105
3.6. Controlo da qualidade da M&V	106
3.7. Identificação dos responsáveis pelo Plano M&V	108
3.8. Especificação de orçamento	109
Capítulo 4	111
Caso Prático - Plano M&V	111
4.1. Identificação do Plano M&V	112
4.2. Descrição da MRE	112
4.3. Definição da fronteira de medição	112
4.3.1. Caracterização dos circuitos de fluxo energético (iluminação)	113
4.3.2. Caracterização da fronteira de medição	114
4.4. Definição da fronteira de utilização	114
4.4.1. Correspondência entre fronteira de utilização e fronteira de medição	114
4.4.2. Caracterização de sistemas de consumo	115
4.4.3. Caracterização das unidades de medição das variáveis de estado	115
4.4.4. Caracterização dos utilizadores da zona	117
4.5. Caracterização das variáveis	117
4.6. Descrição do período de referência	118
4.6.1. Duração do intervalo de tempo (período)	118
4.6.2. Dados da situação de referência	118
4.6.3. Procedimentos	119
4.6.4. Variável de estado	119
4.6.5. Variável envolvente	119
4.6.6. Factores estáticos	119
4.6.7. Característica de consumo de referência	119
4.7. Descrição do período de reporte	120
4.7.1. Duração do intervalo de tempo (período)	120
4.7.2. Procedimentos	120
4.8. Modelo de desempenho	121
4.8.1. Modelo de estimativa	121
4.8.2. Cálculo da poupança	121
4.9. Controlo de qualidade da M&V	121
4.10. Orçamento	122
Capítulo 5	125

Conclusões	125
Referências	127
Anexos	131
Anexo A - Poder Calorífico Inferior (PCI) e Poder Calorífico Superior (PCS)	132
Anexo B - Tipos de combustível e energia fornecida	133
Anexo C - Características da Iluminação (Lâmpadas)	134

Lista de figuras

Figura 2.1 – Histórico de energia e respectiva poupança de consumo de energia evitado [1].....	12
Figura 2.2 – Exemplo de histórico de energia [6].....	13
Figura 2.3 – Histórico de energia real [6].	13
Figura 2.4 – Procedimentos globais de um projecto de eficiência [8].	16
Figura 2.5 – Exemplo de procedimentos do relatório anual [8].	17
Figura 2.6 – Exemplos da fronteira de medição [6].	26
Figura 2.7 – Diagrama da melhor opção segundo o IPMVP [6].	31
Figura 2.8 – Importância da medição e verificação na realização do CDE.	33
Figura 2.9 – Distribuição dos custos e proveitos [12].	33
Figura 2.10 – Fases de um projecto ESE [16].	34
Figura 2.11 – Lei dos proveitos decrescentes da M&V [6].....	36
Figura 3.1 – Fronteira de medição	38
Figura 3.2 – Caldeira, medição do Fluxo de Gás.....	39
Figura 3.3 – Acção das medidas de racionalização de energia	40
Figura 3.4 – Localização das unidades de medição de energia térmica numa rede de calor [19].	45
Figura 3.5 – Localização das unidades de medição no organograma de quadros eléctricos. .	46
Figura 3.6 – Planta com localização das unidades de estado por zonas.	51
Figura 3.7 – Sensibilidade relativa do olho humano às variações luminosas de lâmpadas incandescentes [24].....	59
Figura 3.8 – Potência/Tempo Equivalente de Utilização.....	66
Figura 3.9 – Valor do PIB em Portugal por regiões (1995-2004) [25].	75

Figura 3.10 – Valores do PIB em 2009 na Europa [26].	76
Figura 3.11 – Valor de intensidade energética em 2009 na Europa [26].	77
Figura 3.12 – Intensidade energética VS PIB em diferentes países da Europa (2009).....	77
Figura 3.13 – Valor de VAB em Portugal por região (2000-2005) [27].	79
Figura 3.14 – Função valorização da poupança.	83
Figura 3.15 – Série de consumo mensal.	87
Figura 3.16 – Consumo mensal (kWh/mês) necessário aos níveis de produção mensal (m ³ /mês) A ou B.	89
Figura 3.17 – Correlação entre variáveis do consumo parcial (ex.: um piso) com o consumo global do edifício.	94
Figura 3.18 – Consumo nacional de cada segunda Quarta-feira de cada mês.....	95
Figura 3.19 – Evolução do consumo nacional com as variações de temperatura ambiente. .	96
Figura 3.20 – Modelo de normalização de consumo.	98
Figura 3.21 – Característica de consumo.	100
Figura 4.1 – Quadro eléctrico do edifício e derivações da iluminação.	113
Figura 4.2 – Piso 0, recepção e sala de arquivos.	116
Figura 4.3 – Piso 1, escritórios.	116

Lista de tabelas

Tabela 2.1 – Tabela de responsabilidades.	9
Tabela 3.1 – Contadores eléctricos.	41
Tabela 3.2 – Contadores de combustíveis gasosos.	42
Tabela 3.3 – Contadores de combustíveis líquidos.	42
Tabela 3.4 – Contadores de energia térmica.	43
Tabela 3.5 – Contadores de água.	44
Tabela 3.6 – Caracterização de redes de fluxo energético.	45
Tabela 3.7 – Características da fronteira de medição.	47
Tabela 3.8 – Características entre fronteira de utilização e fronteira de medição.	48
Tabela 3.9 – Características dos constituintes de cada fronteira de utilização.	49
Tabela 3.10 – Características das unidades de medição das variáveis de estado	50
Tabela 3.11 – Caracterização dos utilizadores.	52
Tabela 3.12 – Caracterização das variáveis.	52
Tabela 3.13 – Caracterização das variáveis de envolvente.	61
Tabela 3.14 – Características dos equipamentos de iluminação e sua utilização diária.	67
Tabela 3.15 – Coeficiente de emissões (K_e) de energia fornecida (térmica).	73
Tabela 3.16 – Coeficiente de emissões (K_e) de energia fornecida (eléctrica).	74
Tabela 3.17 – Média do consumo horário por dia da semana no ano 2010, em kWh.	88
Tabela 3.18 – Classificação de consumos	99
Tabela 3.19 – Valores de indicador de desempenho energético.	101
Tabela 3.20 – Registo de precisão dos equipamentos.	107
Tabela 3.21 – Registo de anomalias dos equipamentos.	107

Tabela 3.22 – Orçamento.....	109
Tabela 4.1 – Características dos contadores eléctricos.	112
Tabela 4.2 – Caracterização de redes de fluxo energético no edifício.	113
Tabela 4.3 – Características da fronteira de medição no edifício.	114
Tabela 4.4 – Características entre fronteira de utilização e fronteira de medição no edifício.	114
Tabela 4.5 – Características dos constituintes de cada fronteira de utilização no edifício. .	115
Tabela 4.6 – Características das unidades de medição das variáveis de estado.	115
Tabela 4.7 – Caracterização dos utilizadores no edifício.	117
Tabela 4.8 – Caracterização das variáveis.....	117
Tabela 4.9 – Caracterização das variáveis de envolvente.	118
Tabela 4.10 – Características dos constituintes de cada fronteira de utilização.	120
Tabela 4.11 – Registo de precisão dos equipamentos.	122
Tabela 4.12 – Registo de anomalias dos equipamentos.	122
Tabela 4.13 – Orçamento.....	122

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

AQS	Águas Quentes Sanitárias
CDE	Contrato de Desempenho Energético
CMVP	<i>Certified Measurement & Verification Professional</i>
EPC	<i>Energy Performance Contracting</i>
ESE	Empresa de Serviços de Energia ou Empresas de Serviços Energéticos
FEMP	<i>Federal Energy Meanagement Protocol</i>
IPMVP	<i>International Protocol of Measurement and Verificantion of Performance</i>
M&V	Medição e Verificação
MRE	Medidas de Racionalização de Energia
PIB	Produto Interno Bruto
PIBpm	Produto Interno Bruto a preços de mercado
PIMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação de Performance
QAI	Qualidade do Ar Interior
SGCIE	Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia
VAB	Valor Acrescentado Bruto

Lista de símbolos

€	Euros
$\Delta\emptyset W$	Poupança Energética
ΔPE	Poupança Económica
ΔPN	Poupança Normalizada
ΔPR	Poupança Real
ΔVU	Variação da Valorização da Utilização
°C	Graus centígrados
BD_{rep}	Baseline Desnormalizado no período de reporte
BN_{ref}	Baseline Normalizado no período de referência
BN_{rep}	Baseline Normalizado no período de reporte

BR_{ref}	Baseline Real do período de referência
CDD	<i>Cooling Degree Day</i> convencional
CDDi	<i>Cooling Degree Day</i> de temperature exterior/interior
CDDr	<i>Cooling Degree Day</i> de referência
CT	Consumo nacional
d	Número de dias
E_{ca}	Energia de combustível consumida no sistema de produção de água quente
$E_{combustível}$	Energia consumida de combustível
E_{cv}	Energia de combustível consumida para a produção de vapor
E_e	Energia eléctrica para consumo geral
E_{ea}	Energia eléctrica consumida para o aquecimento
E_{el}	Energia eléctrica total consumida nos sistemas (aquecimento, refrigeração e produção de AQS)
E_{es}	Energia útil produzida através de energia solar
E_{sd}	Eficiência solar diária
E_u	Energia térmica útil fornecida à instalação
E_{ua}	Energia térmica útil na produção de calor
gr	Grama
HDD	<i>Heating Degree Day</i> convencional
HDDi	<i>Heating Degree Day</i> de temperature exterior/interior
HDDr	<i>Heating Degree Day</i> de referência
IT	Influência da temperatura
K	Kelvin
K_e	Coefficiente de emissões de CO_2
kg _{ep}	Quilograma equivalente de petróleo
kWh	Quilowatt-hora
m^2	Metro quadrado
m^3	Metro cúbico
m^3/h	Metros cúbicos por hora
m^3/s	Metros cúbicos por segundo
MN_{rep}	Medição normalizada no período de reporte
MR_{rep}	Medição real no período de reporte
$\emptyset W_E$	Fluxo Energético de Entrada
$\emptyset W_{EA}$	Fluxo Energético de Entrada Antes
$\emptyset W_{ED}$	Fluxo Energético de Entrada Depois
$\emptyset W_{ER}$	Fluxo Energético de Entrada de Referência
$\emptyset W_{ERs}$	Fluxo Energético de Entrada de Referência sectorial
$\emptyset W_{ERt}$	Fluxo Energético de Entrada de Referência temporal
$\emptyset W_U$	Fluxo Energético Útil
$\emptyset W_{UA}$	Fluxo Energético Útil Antes

$\emptyset W_{UD}$	Fluxo Energético Útil Depois
P_{aq}	Produção de água quente
PCI	Poder Calorífico Inferior do combustível (líquido, gasoso ou sólido)
PCS	Poder Calorífico Superior do combustível (líquido, gasoso ou sólido)
P_{el}	Produção eléctrica
P_v	Produção de vapor
S_c	Superfície climatizada
S_s	Superfície de captação útil dos painéis solares
T	Temperatura
T'	Diferença entre a temperatura no interior e no exterior à fronteira de utilização
T_a	Temperatura afluyente
T_u	Temperatura de utilização
V	Fluxo de água
V	Volt
V_a	Volume de água consumida no sistema de produção de água quente
V_{co}	Volume de Combustível
$V\emptyset W$	Valor Contratual da Poupança Energética
$V\emptyset W_{EA}$	Valor de Fluxo Energético Antes
$V\emptyset W_{ED}$	Valor de Fluxo Energético Depois
VU	Valor elementar da Utilização
W	Watt
η	Rendimento
η_A	Eficiência do equipamento Antes
η_D	Eficiência do equipamento Depois

Definições

Acerto de modelo	Consiste num acerto dos modelos matemáticos, ou relações tabeladas, entre variáveis de consumo e variáveis independentes. Consiste na mudança dos modelos de ajuste de poupança ou ajuste de consumo. Os acertos de modelos só podem ser realizados com o acordo de todas as partes do CDE. As condições para a realização dos acertos devem estar especificadas no Plano M&V e no CDE.
Ajuste de consumo	Consiste em modelos, de verificação indirecta, que ajustam para o consumo efectivo com base em variáveis independentes.
Ajuste de poupança	Consiste na correcção de uma medição de poupança verificada de forma a ser independente de uma determinada variável dependente. No caso de um ajuste de preço, por alteração do plano tarifário, a poupança é medida em euros (€).
Consumo	Quantidade de energia utilizada por um sistema normalmente representada pela unidade de medida do gasto de energia eléctrica por tempo de uso (kWh).
Contrato de desempenho energético (CDE)	Também designado por EPC (energy performance contract). Consiste num acordo contratual celebrado entre o beneficiário e o fornecedor (geralmente, uma empresa de serviços energéticos) relativo a uma medida de melhoria da eficiência energética (ou MRE) em que os investimentos nessa medida são pagos por contrapartida de um nível de melhoria da eficiência energética, definido contratualmente.
Empresas de Serviços Energéticos (ESE)	Uma empresa de serviços energéticos é uma empresa que desenvolve, instala e financia projectos destinados a melhorar a eficiência energética e a reduzir as operações e custos de manutenção nas instalações dos seus clientes. O que define uma ESE, além de oferecerem melhorias de eficiência energética é o conceito de concepção e construção de medidas de racionalização de energia sob um contrato de desempenho energético. Estas empresas geralmente são os agentes impulsionadores responsáveis por projectos que apelem à eficiência, onde a remuneração da empresa está directamente relacionada com a quantidade de energia economizada. As reformas inerentes à implementação destas medidas em projectos ESE requerem grandes investimentos de capital inicial que podem reflectir em períodos relativamente longos de reembolso financeiro. Os pagamentos das dívidas dos clientes são vinculados com as poupanças de energia obtidas no projecto, de modo que o cliente pague as medidas de melhorias

com o dinheiro que resulta da diferença entre a pré-instalação e o uso pós-instalação de energia e de outros custos.

Fluxo energético de entrada	Quantidade de energia que flui para o interior do sistema.
Fluxo energético de saída	Quantidade de energia que abandona o sistema.
Fronteira de Medição	Limite fictício estabelecido à volta do equipamento e/ou sistemas com o intuito de separar aqueles que são relevantes para a determinação da poupança. Todos os consumos de energia do equipamento ou sistemas dentro da fronteira de medição devem ser medidos ou estimados, estejam ou não os consumos de energia dentro do limite [1].
Fronteira de Utilização	Consiste na área (elemento físico) de influência da MRE previamente estabelecida pela fronteira de medição. Por vezes, a fronteira de medição é o próprio equipamento ou sistema caso a fronteira de medição não esteja bem definida.
Instalação	Local físico que contem vários sistemas que utilizam energia. Uma ala ou secção de uma instalação maior pode ser tratada como uma instalação por si só se tiver contadores que meçam separadamente toda a sua energia [1].
Medição	Consiste na actividade de recolha de informação de variáveis mensuráveis. É a quantificação e representação das variáveis dependentes e independentes.
Medida de racionalização de energia (MRE)	Uma actividade ou conjunto de actividades concebidos para aumentar a eficiência energética de uma instalação, sistema ou equipamento. As MREs podem também conservar energia sem mudar a eficiência. Várias MREs podem ser implantadas numa instalação ao mesmo tempo, cada uma com um alcance diferente. Uma MRE pode implicar uma ou mais: alterações físicas aos equipamentos da instalação, revisões dos procedimentos de funcionamento e de manutenção, alterações de <i>software</i> ou novos meios de formação ou gestão dos utilizadores do espaço ou operações e do pessoal da manutenção. Uma MRE pode ser aplicada como uma alteração a um sistema ou instalação já existentes ou como uma modificação a um conceito antes da construção de um novo sistema ou instalação [1].
Período de implementação	É o período de tempo escolhido para a inclusão de uma MRE.

Período de referência	É o período de tempo escolhido para representar o funcionamento da instalação ou sistema antes da implementação de uma MRE. Este período pode ser tão curto quanto o tempo necessário para uma medição instantânea de uma quantidade constante ou suficientemente longo para reflectir um ciclo de funcionamento completo de um sistema ou instalação com funcionamentos variáveis [1].
Período de reporte	Período de tempo que se segue à implementação de uma MRE quando os relatórios de poupança aderem ao IPMVP. Este período pode ser tão curto quanto o tempo de uma medição instantânea de uma quantidade constante ou suficientemente longo para reflectir todos os modos de funcionamento normal de um sistema ou instalação com operações variáveis. Este período pode ser também a duração do período de reembolso financeiro de um investimento ou a duração de um período de medição do desempenho energético sob um contrato de desempenho energético [1].
Período de verificação	É o período de tempo durante o período de reporte com a finalidade de avaliar os resultados obtidos após a implementação de uma MRE.
Plano de Medição e Verificação	Consiste num documento que segue um protocolo de medição e verificação, onde é realizada uma caracterização do sistema a analisar e descritas detalhadamente todas as medidas de racionalização de energia a implementar. O Plano M&V estabelece técnicas e métodos de medição e verificação específicos com o objectivo de determinar as poupanças que resultam de um contrato de eficiência energética.
Poupança	É uma redução no consumo ou custo de energia. A poupança física pode ser expressa como consumo de energia evitado ou poupança normalizada. A poupança monetária pode ser expressa analogamente como “custo evitado” ou “poupança de custo normalizada” [1].
Protocolo de Medição e Verificação	Consiste num regulamento onde são descritos todos os passos comuns de boas práticas à medição e verificação. Serve também como referência de elaboração do Plano M&V. Alguns dos protocolos existentes quanto à medição e verificação são: IPMVP, ASHRAE e FEMP.
Unidade de medição	Consiste numa medida ou quantidade específica de uma determinada grandeza física que poderá servir de padrão para outras medidas.
Valor contratual da energia	Consiste no valor elementar da energia considerado no âmbito de um contrato de desempenho energético.

Valor contratual da poupança	Consiste no valor elementar da poupança considerado no âmbito de um contrato de desempenho energético.
Verificação	Consiste num processo de avaliação dos resultados de poupanças económicas e energéticas obtidas após a implementação das medidas de racionalização de energia.

Capítulo 1

Introdução

O apelo a uma política energética eficiente é sem dúvida alguma um dos pontos em debate na actualidade. A Medição e Verificação surge assim como uma ferramenta de advocação à eficiência energética. Este trabalho de dissertação será orientado à exploração de boas práticas energéticas em edifícios, dado serem um dos principais utilizadores de energia e com elevado potencial de aplicação de projectos de eficiência.

Um dos acontecimentos que proporcionou a aplicação destas medidas foi o aparecimento das empresas de serviços de energia (ESE) que veio estimular as oportunidades de redução dos consumos em edifícios.

1.1. Enquadramento

A eficiência energética é definida como a procura de optimização do uso das fontes de energia. É cada vez mais uma prioridade na agenda internacional, constituindo o caminho mais rentável a curto prazo para uma maior segurança energética, redução das emissões de gases que contribuem para o efeito de estufa e simultaneamente a diminuição dos consumos energéticos e de combustíveis fósseis. A eficiência energética pressupõe a implementação de estratégias e medidas para combater o desperdício de energia ao longo do processo de transformação: desde que a energia é transformada e, mais tarde, quando é utilizada [2].

Os investimentos na eficiência energética constituem oportunidades benéficas a níveis económicos e ambientais. Em Portugal é necessário criar mais incentivos aos investimentos nesta área, uma vez que possui um elevado potencial e é um país de poucos recursos energéticos face à maioria dos países desenvolvidos.

O intuito de aumentar a eficiência energética implica consequentemente a aplicação de medidas de racionalização de energia (MRE), o acompanhamento da sua evolução e a sensibilização dos utilizadores das instalações consumidoras intensivas de energia para o seu uso racional. A aplicação destas medidas necessita de realização de investimentos, com a finalidade de obter poupanças face aos investimentos previstos. Perante estas necessidades começaram a surgir sectores de prestação de serviços de energia que proporcionaram mudanças importantes na sua comercialização, como o financiamento e tipos de contratos [3]. Os designados contratos de desempenho energético (CDE) foram aperfeiçoados para as

2 Introdução

medidas de eficiência energética, onde a entidade que presta o serviço garante a realização de um determinado nível de economia e é remunerado pelos ganhos obtidos pelo próprio projecto.

Não sendo possível medir directamente a poupança, surge assim a Medição e Verificação (M&V) como processo de utilização e avaliação de dados medidos, permitindo a determinação de modo seguro do valor da poupança [4].

Os procedimentos de medição e verificação têm como principal objectivo detectar anomalias no desempenho de equipamentos ou sistemas, que são cruciais para a determinação do risco dos contratos de desempenho energético (CDE). Por esta razão foi necessário uniformizar as várias metodologias de M&V existentes num único documento, sendo criado o Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP), o mais utilizado internacionalmente pelas empresas de serviços de energia (ESE) [1].

A aplicação do protocolo IPMVP deverá servir como base no que diz respeito aos princípios de utilização racional de energia, porém, deverá permitir acima de tudo flexibilidade na sua aplicação a qualquer projecto.

Na avaliação do desempenho energético será necessário definir um Plano M&V, que contenha toda a informação respeitante a restrições, metodologias e procedimentos de análise de dados tanto no período antecedente à implementação das MRE, como posteriormente, no período de reporte. O plano deverá conter ainda um determinado conjunto de pontos como objecto de estudo (exaustivo e relevante, conservador, coerente, preciso e transparente), por forma a assegurar a qualidade dos resultados obtidos.

1.2. Motivação

As medidas de utilização racional de energia são o ponto-chave e uma das mais importantes metas a alcançar quanto à sustentabilidade energética e utilização eficiente de recursos. É essencial o esforço por parte de todos no cumprimento destes objectivos, especialmente as entidades governamentais e empresas deverão interagir por forma a tornar este problema solúvel num futuro próximo.

O dilema de um uso eficiente de energia arrasta-se à uma série de anos e é necessário efectivamente realizar e incentivar os investimentos nesta área.

As empresas que investem na eficiência energética, uma das primeiras preocupações, está em determinar quanto estas irão economizar e durante quanto tempo a economia permanecerá. Contudo, este processo torna-se um desafio devido à necessidade de estimar as economias que resultarão da implementação de uma ou várias MRE a fins de concretização de um contrato de desempenho energético. As economias tratam-se da ausência do uso de energia em relação ao padrão antes da implementação da medida onde é preciso simultaneamente uma medição precisa e uma metodologia que seja aceite pelas partes envolvidas, como o proprietário da instalação, a empresa de serviços de energia (ESE) e por vezes um financiador [3].

O sucesso dos projectos de eficiência energética pode ser comprometido caso o comprador e o vendedor não concordarem num plano adequado de medição e verificação dos ganhos. Para facilitar o consenso sobre os procedimentos é bastante útil seguir um Protocolo de Medição e Verificação (M&V). Um protocolo apresenta um guia imparcial dos pontos que devem ser considerados e um conjunto de procedimentos e metodologias para quantificar os ganhos alcançados pelas medidas de eficiência contratadas. Estabelece também informação

sobre factores decisivos na escolha da metodologia mais adequada, gestão e alocação de riscos, investigação e resolução de desentendimentos e outros aspectos essenciais na relação entre o comprador e vendedor que são indispensáveis à determinação dos resultados alcançados [3].

Assim, torna-se imperativo a utilização duma política correcta energética com a finalidade de diminuir os consumos excessivos de combustíveis fósseis, as dependências energéticas entre países (maior sustentabilidade) e os impactos ambientais.

1.3. Objectivos

Este trabalho de dissertação tem como objectivo desenvolver um guia de Medição e Verificação que sirva de base para a elaboração de um Plano M&V, segundo o Artigo 1.º do Decreto-Lei n.º 29/2011, de 28 de Fevereiro, com o seguinte propósito: “O presente decreto-lei estabelece o regime jurídico aplicável à formação e execução dos contratos de desempenho energético que revistam a natureza de contratos de gestão de eficiência energética, a celebrar entre os serviços e organismos da Administração Pública directa, indirecta e autónoma e as empresas de serviços energéticos, com vista à implementação de medidas de melhoria da eficiência energética nos edifícios públicos e equipamentos afectos à prestação de serviços públicos.” [5].

O “Guia de Medição e Verificação” consistirá numa definição de procedimentos e numa forma de apresentação da Medição e Verificação adaptada à realidade portuguesa para aplicação no mercado de eficiência energética a ser desenvolvido pelas empresas de serviço de energia (ESE). A utilização deste guia irá facilitar a relação entre clientes e empresas de serviços de energia (ESE), uma vez que, ambas as partes deverão na fase inicial do projecto acordar e validar todas as condições essenciais à criação do plano por forma a melhorar o desempenho energético da instalação.

Como será referido, no capítulo 2 (ver secção 2.12) as empresas de serviços de energia fundamentam grande parte do seu negócio nos contratos de desempenho energético que têm como principal objectivo estabelecer o Plano M&V.

1.4. Estrutura

Esta dissertação encontra-se estruturada em cinco capítulos distintos, sendo o primeiro a introdução do trabalho.

No segundo capítulo serão descritos os aspectos relacionados com a Medição e Verificação (M&V), referência ao protocolo IPMVP e algumas das suas particularidades, princípios, requisitos, procedimentos, actividades e preparação do Plano M&V, bem como o problema das responsabilidades no contrato, contratos de desempenho energético e incerteza.

O terceiro capítulo é constituído pelo “Guia de Medição e Verificação” criado neste trabalho de dissertação, onde o principal objectivo é apresentar uma visão, procedimentos típicos e situações, sobre o assunto da Medição e Verificação (M&V). Este guia servirá como ferramenta de apoio à elaboração de um Plano M&V com aplicações em projectos de eficiência energética.

4 Introdução

O quarto capítulo consiste na apresentação do caso prático de aplicação do guia num Plano M&V a um edifício de escritórios genérico, com o objectivo de implementar medidas de racionalização energética no sistema de iluminação.

Finalmente, no quinto capítulo serão apresentadas diversas conclusões obtidas ao longo da elaboração desta dissertação.

Capítulo 2

Estado da Arte

2.1. Medição e Verificação (M&V)

“A Medição & Verificação (M&V) é um procedimento de utilização de medições para determinar correctamente a poupança real conseguida numa instalação individual resultante da aplicação da MRE.” [1].

Na medição e verificação são utilizados métodos por forma a determinar a poupança através da implementação de medidas que melhoram a eficiência energética. Esta poupança não pode ser medida directamente e portanto é obtida pela comparação do consumo medido antes (consumo do período de referência) e depois (consumo do período de reporte) da execução das acções de melhoria, fazendo ajustes adequados tendo em conta possíveis alterações nas condições [6].

As medidas que melhoram a eficiência energética são designadas por medidas de racionalização de energia (MRE) que quando devidamente aplicadas permitem obter uma redução do consumo e consequentemente a diminuição nos custos energéticos da instalação. Sendo o principal desafio da M&V equilibrar custos com retorno económico, é necessário realizar investimentos em acções de monitorização de consumos por forma a obter informação precisa que implicará um custo adicional e que deverá ser tido em conta aquando da escolha da metodologia M&V.

As técnicas de M&V podem ser utilizadas pelos proprietários da instalação ou pelos investidores do projecto de eficiência energética para:

- **Aumentar a poupança de energia** – A determinação exacta da poupança de energia fornece aos proprietários e gestores da instalação informação valiosa acerca das suas medidas de racionalização de energia (MRE). Esta informação permite criar ajustes com o intuito de melhorar a poupança, assegurando uma maior duração da mesma.
- **Documentar transacções financeiras** – Para alguns projectos, a poupança da eficiência energética é a base de pagamentos financeiros baseados no desempenho energético e/ou a garantia num contrato de desempenho energético. Um Plano M&V bem definido e implementado pode ser a base para documentar o

desempenho energético de forma transparente e sujeito a uma verificação independente.

- **Aumentar o financiamento para projectos de eficiência** – Um bom Plano M&V proporciona credibilidade e transparência dos relatórios sobre projecções e resultados dos investimentos de eficiência. Deste modo há uma maior confiança por parte dos investidores e patrocinadores nos projectos de eficiência energética, aumentando assim as suas possibilidades de serem financiados.
- **Aumentar o valor dos créditos de redução de emissão** – Explicar as reduções de emissão acrescenta um valor adicional aos projectos de eficiência. A utilização de um Plano M&V para determinar a poupança de energia melhora relatórios de redução de emissão em comparação com relatórios feitos sem Plano M&V [1].

2.2. Protocolos da M&V

A Medição e Verificação é um tema debatido há vários anos, onde em meados da década de 1990 os investimentos em projectos de eficiência energética foram menores do que se desejava, isto devido ao elevado grau de incerteza e risco associados com as futuras poupanças de energia [7]. Estas inconsistências levaram à necessidade da criação de um protocolo M&V, que inicialmente apresentava múltiplas abordagens de engenharia relativamente à eficiência de uma instalação e determinação da poupança.

Com o aparecimento e desenvolvimento das empresas de serviços de energia (ESE) e as incongruências entre as várias abordagens das primeiras tentativas em estabelecer um protocolo, foi fundamental a participação e cooperação entre as agências dos governos e especialistas nas indústrias de eficiência energética para uma normalização das metodologias da Medição e Verificação (M&V). Assim, surgiu uma primeira versão do Protocolo Norte-Americano de Medição e Verificação de Energia (*North American Energy Measurement and Verification Protocol*), que mais tarde veio a ser alterada, expandida e intitulada de Protocolo Internacional para a Medição e Verificação de Performance - PIMVP (*International Performance Measurement and Verification Protocol - IPMVP*), sendo actualmente a versão de 2009 a mais recente [1]. O protocolo teve como objectivo estabelecer os procedimentos gerais da forma de medição, cálculo e reporte das poupanças obtidas em projectos de eficiência energética, definiu ainda que estas poupanças devem ser analisadas de acordo com um Plano de Medição e Verificação (M&V) baseado em quatro opções (A, B, C e D).

No ano de 2000 foram introduzidas novas regras ao IPMVP quanto à qualidade ambiental e mais tarde entre 2006/2007 devido às advertências dos efeitos climáticos, estas questões tiveram uma elevada importância principalmente no apelo à redução das emissões de gases de CO₂, diminuição do consumo de combustíveis fósseis e uma maior eficiência energética.

Juntamente com o IPMVP surgiu um protocolo designado de *Federal Energy Management Protocol* (FEMP), com a finalidade de reduzir os custos de energia apenas em projectos de edifícios públicos por forma a torna-los mais eficientes.

A aplicação e os aperfeiçoamentos constantes do IPMVP ao longo dos anos demonstram o seu sucesso na determinação de pontos críticos num projecto de eficiência energética, onde a flexibilidade do protocolo permite definir um Plano M&V exclusivo mediante os objectivos de cada projecto.

Existem ainda outros protocolos onde são evidenciadas as boas práticas de M&V tais como:

- **ASHRAE** – *American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers*;
- **ABPG** – *Australian Best Practice Guide* – Baseado no IPMVP;
- **ISO 5001** – *Energy Management Standard* - Integra aspectos da M&V mas é mais abrangente.

2.3. Princípios da M&V

Os princípios fundamentais de uma boa prática de M&V são descritos de seguida:

- **Completo** – Ao reportar a poupança de energia deve-se ter em consideração todos os efeitos de um projecto. As actividades de M&V devem usar medições para quantificar os efeitos significativos, enquanto calcula todos os outros.
- **Conservador** – Uma vez que os pareceres são feitos acerca de quantidades incertas, os procedimentos de M&V devem ser concebidos para avaliar, de forma pessimista, a poupança.
- **Consistente** – O relatório M&V de um projecto de eficiência energética deve ser consistente entre:
 - Diferentes tipos de projectos de eficiência energética;
 - Diferentes profissionais de gestão energética num qualquer projecto;
 - Diferentes períodos de tempo num mesmo projecto;
 - Projectos de eficiência energética e novos projectos de produção de energia.
- **Preciso** – Os relatórios de M&V devem ser tão precisos quanto o orçamento de M&V permitir. Os custos de M&V devem normalmente ser mais baixos em relação ao valor monetário da poupança a ser avaliada. Os gastos de M&V devem também ser consistentes com as implicações financeiras de reportar com sobre-informação ou sub-informação do desempenho energético do projecto. Os compromissos sobre a precisão devem ser acompanhados por um maior conservadorismo em qualquer cálculo ou parecer.
- **Relevante** – A determinação da poupança deve medir os parâmetros de desempenho energético mais importantes, ou menos conhecidos, enquanto que, outros parâmetros menos críticos ou previsíveis podem ser calculados.
- **Transparente** – Todas as actividades de M&V devem ser clara e completamente divulgadas. A divulgação completa deve incluir a apresentação de todos os elementos para o conteúdo de um Plano de M&V e de um relatório de poupança, respectivamente [1].

2.4. Requisitos da M&V

Toda a informação que é possível recolher torna-se útil na preparação de estudos de viabilidade do projecto, pedidos de propostas, contratos de desempenho energético (CDE) e na documentação detalhada das condições de *baseline*. Os dados recolhidos e as análises realizadas durante o desenvolvimento dos métodos de M&V, e da caracterização do *baseline* podem ser actualizados e usados numa fase posterior do projecto de eficiência.

A aplicação da medição e verificação (M&V) requer uma monitorização permanente por parte das entidades responsáveis pela instalação. A integração da M&V nos contratos de desempenho energético (CDE) permite assegurar níveis de qualidade da verificação do desempenho energético aquando da implementação das medidas de racionalização energética (MRE). Para isso, a M&V deve incluir requisitos obrigatórios que são comuns a todos os projectos de eficiência energética, como:

1. Compreensão dos problemas que o CDE poderá ter impacto quanto aos riscos na instalação ou na empresa de serviços de energia (ESE);
2. Preparação de um projecto de medição e plano de verificação;
3. Documentação das condições de *baseline* e verificação do potencial da implementação das medidas de racionalização de energia;
4. Determinação da poupança de acordo com uma das quatro opções (A, B, C ou D) da M&V no caso do protocolo IPMVP [8].

2.5. Problemas na responsabilidade do contrato

Os contratos de desempenho energético possuem componentes inerentes que especificam como os riscos associados aos custos estimados de projecto são repartidos entre a agência de energia e a ESE. Essas componentes estão geralmente relacionadas com os termos do contrato financeiro e os métodos de M&V acordados para a determinação das poupanças. Serão apresentados na tabela 2.1 os problemas que afectam a atribuição de responsabilidades do contrato. A tabela apresenta os principais factores que influenciam o cálculo da poupança e qual das partes responsável - ESE ou agência de energia ou até nenhum deles - por cada factor. Estes factores podem incluir o desempenho do equipamento (normalmente sob a responsabilidade da ESE), alterações em relação ao desempenho de funções das instalações (normalmente sob a responsabilidade do proprietário da instalação), alterações meteorológicas (normalmente sob a responsabilidade de qualquer uma das partes), e os preços de energia (normalmente sob a responsabilidade da ESE caso os preços de energia se mantiverem dentro de um certo intervalo, ou do proprietário da instalação caso os preços de energia saírem desse mesmo intervalo).

O preenchimento da tabela de responsabilidades (tabela 2.1) é um exercício muito útil, pois permite uma compreensão do nível de exigência de rigor necessário no Plano M&V, dado que, esta tabela apresenta os factores que são da responsabilidade da ESE e portanto necessitam de ser documentados durante a vigência do contrato. Regra geral, um dos objectivos do contrato poderá ser a libertação de responsabilidades por parte das ESE quanto a factores que estejam fora do seu controlo, como por exemplo o tipo de ocupação da instalação ou factores meteorológicos. Contudo, quanto aos factores que estejam ao alcance de controlo da ESE, esta deverá manter as suas responsabilidades como por exemplo na manutenção da eficiência dos equipamentos.

Para reduzir os riscos e os níveis de rigor da M&V é importante estabelecer uma estimativa razoável de poupança antes da implementação das MRE ou da inclusão de equipamentos no sistema. As ESE poderão ainda superestimar os níveis de poupança baseando-se em dados e cálculos optimistas de eficiência energética.

Assim, as agências de energia devem tentar chegar a um consenso com as entidades patrocinadoras do projecto quanto a estimativas mais realistas de poupanças de energia antes de emitir a aprovação da instalação. Esta abordagem estabelece expectativas razoáveis na perspectiva de reduzir a probabilidade de um litígio de pagamento após da elaboração da instalação [8].

Tabela 2.1 – Tabela de responsabilidades.

Factor	Descrição
Taxas de Juro	Nem as ESE, nem o proprietário da instalação têm um controlo significativo sobre a taxa de juros em vigor. Durante todas as fases do projecto, as taxas de juros alteram-se com as condições do mercado. Taxas de juros mais altas aumentam o custo do projecto, termos de financiamento, ou ambos. É necessário esclarecer se a taxa de juros é uma taxa fixa ou variável.
Preços de energia	Nem a ESE, nem o proprietário da instalação têm um controlo significativo sobre os preços de energia real. Para o cálculo da poupança, o valor de energia poupada pode ser constante, a uma taxa de inflação fixa ou variar com as condições de mercado. Se o valor se alterar com o mercado, os preços da energia diminuem e a ESE fica em risco de não garantir os valores de poupança. Se os preços da energia aumentarem, existe um pequeno risco, para o proprietário da instalação, das poupanças de energia não serem satisfeitas, ao contrário das financeiras. Se o valor da energia poupada é fixo (ou permanente ou escalonado), o proprietário da instalação incorrerá no risco de realizar pagamentos em excesso pela actual poupança de energia.
Custos de construção	A ESE é responsável por determinar os custos de construção e a definição de um orçamento. Num contrato de custo fixo o proprietário da instalação assume poucas ou nenhuma responsabilidades por custos adicionais, no entanto, se as estimativas de construção são significativamente maiores do que inicialmente previsto, a ESE pode determinar que o projecto não é mais viável, chegando mesmo a abandoná-lo. Num contrato deste tipo o proprietário da instalação terá de ser flexível quanto a questões estruturais e <i>design</i> da instalação. É necessário esclarecer os padrões de <i>design</i> e o processo de aprovação do projecto (incluindo alterações futuras) e como os custos serão revistos.
Custos M&V	O proprietário da instalação assume a responsabilidade financeira

	<p>dos custos da M&V directamente ou através de uma ESE. Se o proprietário da instalação pretender reduzir o custo da M&V, poderá fazê-lo acordando menor rigor nas actividades de M&V e consequentemente com maior incerteza nas estimativas de poupança. É necessário esclarecer que níveis de desempenho são garantidos (desempenho dos equipamentos, factores operacionais, redução de custos de energia) e que o Plano M&V é suficientemente detalhado.</p>
Atrasos	<p>Tanto a ESE como o proprietário da instalação podem causar atrasos. A falha em implementar um projecto viável num tempo útil trará custos à instalação, sob a forma de uma poupança perdida e aumentando o custo para o projecto. Listar os atrasos e a forma como serão tratados (ex.: <i>multas ou reajustes de preços</i>).</p>
Alterações nas instalações	<p>O proprietário da instalação controla as alterações na instalação, incluindo o seu encerramento. É necessário esclarecer as responsabilidades em caso de encerramento, perda de fundos, ou outra mudança importante.</p>
Horas de funcionamento	<p>O proprietário da instalação geralmente tem o controlo sobre o horário de funcionamento. Aumentos e diminuições de horas de funcionamento podem aparecer como aumentos ou diminuições de "poupança", dependendo dos métodos de M&V (ex.: <i>Horário de funcionamento dos equipamentos com bons níveis de eficiência energética VS Análise de utilização da instalação</i>). É necessário esclarecer se as horas de funcionamento estão a ser medidas ou estipuladas e qual o impacto se estas se alterassem. Se o horário de funcionamento for estipulado, então o <i>baseline</i> deverá ser documentado e acordado por ambas as partes.</p>
Necessidades de carga	<p>As necessidades de carga dos equipamentos podem variar ao longo do tempo. O proprietário da instalação geralmente tem o controlo sobre o horário de funcionamento, áreas de ocupação, e utilização (ex.: <i>alterações dos níveis de ocupação de um espaço</i>). Variações de carga podem surgir como aumentos ou diminuições de "poupança", dependendo do método de M&V utilizado. É necessário esclarecer se as necessidades de carga dos equipamentos são medidas ou previstas e qual o impacto se estas se alterarem. Caso as necessidades de cargas dos equipamentos sejam estipuladas, então o <i>baseline</i> deverá ser documentado detalhadamente e acordado por ambas as partes.</p>

<p>Condições meteorológicas</p>	<p>As medidas de racionalização de energia (MRE) são afectadas pelas condições meteorológicas. Nem o proprietário da instalação, nem a ESE têm a capacidade de controlar estas condições. Alterações no clima podem aumentar ou diminuir "poupança", dependendo do método de M&V utilizado (ex.: <i>Horário de funcionamento dos equipamentos com bons níveis de eficiência energética VS Análise de utilização da instalação</i>). Se as condições meteorológicas estiverem "normalizadas", a poupança real poderá ser menor do que os pagamentos num determinado ano. Correções nas condições meteorológicas nos valores de <i>baseline</i> devem ser claramente definidas e compreendidas.</p>
<p>Tempo de vida dos equipamentos</p>	<p>O tempo de vida dos equipamentos depende do contrato de serviços de controlo dos mesmos, tipo de funcionamento e manutenção. A garantia dos equipamentos costumam cobrir eventuais avarias e falhas no primeiro ano. Uma garantia alargada (muitas vezes vinculada no contrato de serviços de controlo) tem a vantagem de não se proceder ao pagamento da totalidade de equipamentos que estejam em funcionamento indevido. É necessário esclarecer quem é o responsável pela reparação e substituição de componentes que avariaram durante a vigência do contrato.</p>
<p>Participação dos utilizadores</p>	<p>Muitas das medidas de racionalização de energia (MRE) requerem a participação do utilizador para gerar uma poupança (ex.: <i>configurações de controlo</i>). A poupança pode variar e a ESE poderá não estar disposta a investir nas MRE. Será preciso esclarecer os níveis necessários de participação dos utilizadores, e utilizar uma monitorização permanente de forma mitigar riscos. Se o desempenho for estipulado, este deverá ser documentado e revisto por forma a avaliar os métodos de M&V (ex.: <i>confirmação da funcionalidade das configurações de controlo</i>).</p>
<p>Desempenho dos equipamentos</p>	<p>Geralmente, a ESE tem o controlo sobre a escolha dos equipamentos e é a responsável pela sua devida instalação e desempenho. A ESE também geralmente é responsável por demonstrar os níveis esperados de desempenho, incluindo padrões de serviço e eficiência. É necessário esclarecer quem é responsável pelo desempenho inicial e a longo prazo, como será verificado e o que será feito caso este não corresponda às expectativas.</p>
<p>Manutenção</p>	<p>A responsabilidade pela manutenção é negociável, no entanto, está muitas das vezes ligada ao desempenho. É necessário esclarecer</p>

	como a manutenção a longo prazo será assegurada, especialmente se a entidade responsável pelo desempenho de longo prazo não é responsável pela manutenção.
Funcionamento	A responsabilidade pela operação é negociável e pode afectar o desempenho. É necessário esclarecer como é que o funcionamento será assegurado e de quem é a responsabilidade pelo funcionamento e as implicações do controlo do equipamento.

2.6. Procedimento genérico da M&V

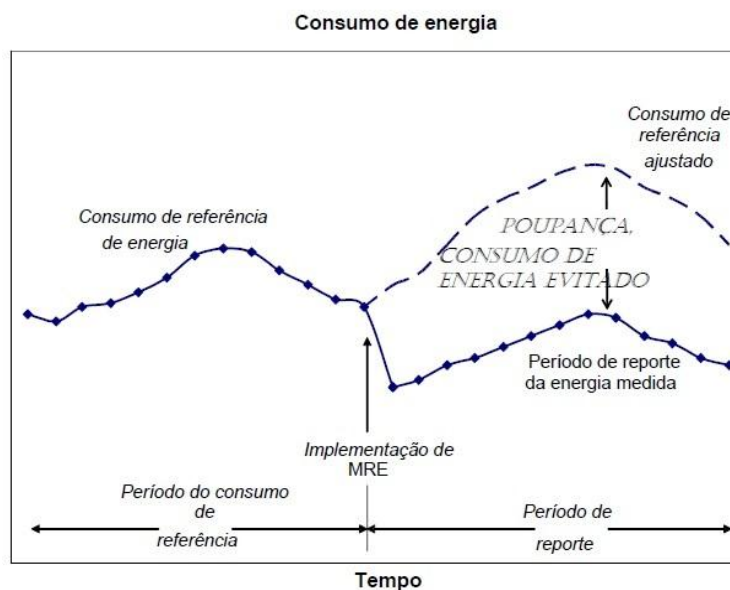


Figura 2.1 – Histórico de energia e respectiva poupança de consumo de energia evitado [1].

O processo de determinação de poupança, como é mostrado na figura 2.1, consiste numa análise prévia dos consumos de energia que servem como base para a implementação das MRE. É esta informação que permite determinar quais as medidas a adoptar com o intuito de aumentar os níveis de eficiência energética no projecto.

A poupança pode ser assim calculada pela diferença entre o valor da medição no período de referência e o consumo de reporte que se pressupõem contínuo para o mesmo período. Contudo, a ocorrência de alterações na utilização de energia não relacionadas directamente com a implementação das MRE, quer por factores externos (condições meteorológicas) ou por mudanças periódicas características ao consumo (redução dos níveis de produção), devem ser tomadas em consideração sendo necessário a realização de um ajuste no consumo do período de referência. Deste modo, a comparação dos consumos antes e depois da implementação da MRE é feita de acordo com a seguinte equação 2.1:

$$Poupança = (Consumo_{\text{período de referência}})_{\text{Ajustado}} - (Consumo_{\text{período de Reporte}}) \quad (2.1)$$

O termo "Ajustado" na equação é usado para ajustar o consumo dos períodos de consumo de referência e de reporte sob um conjunto comum de condições. Este termo distingue relatórios de poupança reais de uma simples comparação de custo ou utilização antes e depois da implementação de uma medida de racionalização de energia (MRE). Simples comparações de custos de empresas do sector energético sem tais ajustes reportam apenas alterações de custo e não reportam o verdadeiro desempenho energético de um projecto. Para reportar adequadamente a "poupança" os ajustes devem explicar as diferenças nas condições entre o consumo de referência e os períodos de reporte [1].

Se consideramos como exemplo um caso simples onde temos uma curva de consumo de energia anual plana e constante ao longo do tempo, após a implementação de acções de melhoria da eficiência energética, é nos possível obter uma diminuição do consumo de energia sempre constante no tempo tal como é mostrado na figura 2.2 [6]:

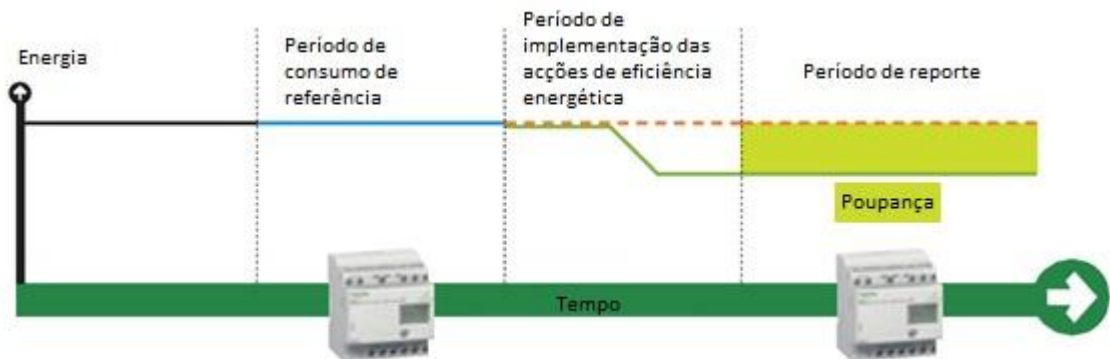


Figura 2.2 – Exemplo de histórico de energia [6].

Na realidade as curvas de consumo têm um perfil bastante semelhante à figura 2.3, onde os picos e depressões geralmente se repetem, não de uma forma exacta mas semelhante ao período de referência [6].



Figura 2.3 – Histórico de energia real [6].

2.6.1. Período de consumo de referência

O período de consumo de referência é o período que estabelece todas as actividades de funcionamento do sistema ou instalação. É caracterizado também por ser o período de base que permite definir a necessidade de adopção de medidas de racionalização de energia.

O período de consumo de referência deve ser determinado detalhadamente de modo a abranger os seguintes objectivos:

- Representar todos os modos de funcionamento da instalação. Este período deve cobrir um ciclo de funcionamento completo desde o consumo máximo de energia ao consumo mínimo de energia.
- Representar relativamente bem todas as condições de funcionamento de um ciclo de funcionamento normal. Por exemplo, apesar de um ano poder ser escolhido como o período de consumo de referência, se faltarem dados de um mês durante o ano seleccionado, dados comparáveis para o mesmo mês de um ano diferente devem ser empregues para garantir que o registo do consumo de referência não representa por baixo as condições de funcionamento do mês em falta.
- Incluir apenas períodos de tempo para os quais todos os factores, fixos e variáveis, que regem a energia são conhecidos acerca da instalação.
- Coincidir com o período imediatamente anterior ao compromisso de levar a cabo a instalação da MRE. Períodos muito anteriores no tempo poderão não reflectir as condições que existiam antes da aplicação da MRE que se pretende medir [1].

2.6.2. Período de reporte

A entidade responsável pelos relatórios de poupança deve determinar a duração do período de reporte. Este período deve englobar pelo menos um ciclo de funcionamento normal do sistema ou instalação, para caracterizar completamente a eficácia da poupança em todos os modos de funcionamento normais.

Em alguns projectos o período de reporte da poupança pode ser concluído após um período que pode ir de uma leitura instantânea a um ano ou dois.

A duração de qualquer período de reporte deve ser determinada com a devida consideração pela duração da MRE e a probabilidade de degradação da poupança originalmente obtida ao longo do tempo.

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

Se reduzir a frequência da medição da poupança após a prova inicial do desempenho energético, outras actividades de monitorização no local podem ser intensificadas para garantir que a poupança se mantém [1].

2.6.3. Fronteira de Medição

A fronteira de medição estabelece o limite fictício da aplicação da MRE, onde todos os consumos de energia dos equipamentos ou sistema em análise devem ser medidos ou estimados. Desta forma é perceptível que a poupança pode ser determinada para toda a instalação ou simplesmente uma parte dela, dependendo dos objectivos a reportar.

Geralmente os objectivos de maior interesse na definição da fronteira de medição estão relacionados:

- Caso se pretenda apenas gerir o equipamento afectado pelo programa de poupança então deve-se estabelecer uma fronteira de medição em torno desse equipamento. A opção do IPMVP a usar será a opção A ou B.
- Caso se pretenda gerir o desempenho energético de toda a instalação, os contadores que medem o fornecimento de energia de toda a instalação podem ser usados para avaliar o desempenho energético e a poupança. A opção do IPMVP a usar será a opção C.
- Caso os dados do período de consumo de referência ou do período de reporte não são de confiança ou não estão disponíveis, deve ser utilizado um programa de simulação calibrada que permita determinar os dados energéticos em falta, para apenas uma parte ou toda a instalação. A opção do IPMVP a usar será a opção D [1].

2.7. Actividades da M&V

As actividades da M&V seguem os seguintes pontos:

1. Definir os requisitos de M&V para a inclusão no contrato entre a agência de energia e a ESE com base na abordagem apropriada (no caso da utilização do protocolo IPMVP serão as opções A, B, C ou D) dos métodos de M&V.
2. Logo que o projecto esteja completamente definido e antes de ser acordado em contrato por ambas as partes, será necessário preparar condições específicas relacionadas com o Plano M&V do projecto.
3. Definir o *baseline* de pré-implementação, incluindo os equipamento e sistemas, utilização energética do *baseline* (e custos), e/ou factores que influenciem a utilização energética do *baseline*. O *baseline* pode ser definido através de intervenções locais; medições *spot* (medições focadas em apenas alguns equipamentos ou sistemas), medições de curto prazo ou longo prazo; e/ou análise de facturas energéticas. Estas actividades poderão ocorrer antes ou depois da assinatura do contrato.
4. Definir a situação pós-implementação, incluindo os equipamentos e sistemas, utilização energética pós-implementação (e custos), e/ou factores que influenciam o consumo de energético pós-implementação. Este período poderá ser definido intervenções locais; medições *spot*, medições de curto prazo ou a

longo prazo; e/ou análise de facturas energéticas que podem ser utilizadas para a avaliação de pós-implementação.

5. Realização de actividades M&V anuais com o objectivo de verificar o funcionamento dos equipamentos instalados, sistemas, determinar as poupanças do ano corrente, e estimativas de poupanças para os anos subsequentes [8].

2.8. Detalhes das actividades da M&V

Com a implementação do contrato, tanto a agência de energia como a ESE seguem determinadas etapas em relação às actividades da M&V para cada projecto de eficiência. A figura 2.4 representa um fluxograma das etapas de um projecto de eficiência para o primeiro ano.

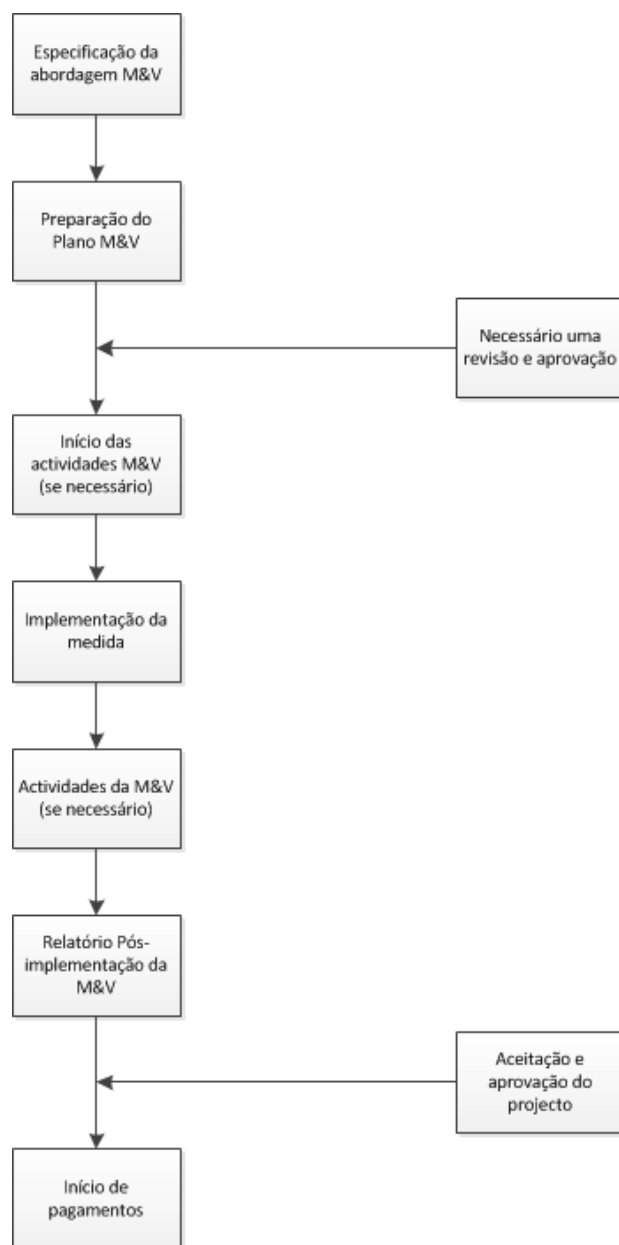


Figura 2.4 – Procedimentos globais de um projecto de eficiência [8].

Exemplo de um relatório de tarefas (anual) é apresentado na figura 2.5:

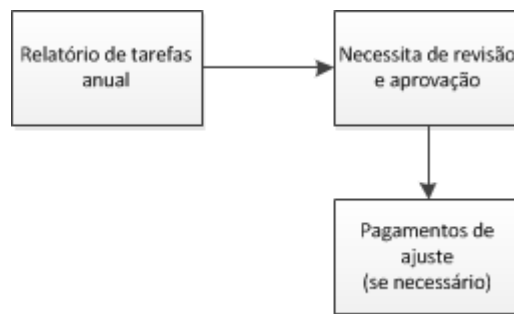


Figura 2.5 – Exemplo de procedimentos do relatório anual [8].

A participação de ambas as partes nestas etapas deve constar com o maior detalhe possível no contrato de desempenho energético (CDE), dependendo do tipo específico de acordo do negócio, alocação de riscos, e os níveis de precisão desejada. Contudo, a própria ESE deverá fornecer documentação relativamente aos equipamentos e níveis de poupanças. As agências de energia verificam as propostas de precisão e determinam a aprovação das etapas, bem como o próximo passo no projecto de eficiência. Estas propostas incluem o relatório de pré-implementação do projecto, relatório de pós-implementação do projecto e relatórios periódicos de aprovação e revisão de procedimentos M&V. Como parte da revisão de propostas, as agências de energia poderão eventualmente realizar inspecções no local para a confirmação e aprovação de informação.

As etapas apresentadas na figura 2.4 devem ser aplicadas à maioria dos projectos de eficiência, no entanto, algumas destas actividades da M&V poderão não ser necessárias caso certas variáveis, utilizadas na estimativa da poupança, forem simplesmente estipuladas no contrato [8]. De seguida serão descritas resumidamente estas etapas.

2.8.1. Especificações do Plano M&V

O Plano M&V deverá considerar os diferentes tipos de medidas de racionalização energética (MRE) a implementar ou o tipo de sistemas a intervir, os níveis de confiança desejada, bem como os níveis de precisão de verificação necessários.

Em alguns casos, os requisitos do Plano M&V serão incluídos pelo proprietário da instalação como parte das propostas. Noutros casos, a ESE poderá propor um Plano M&V mais específico com o objectivo deste estar concluído antes ou depois da execução do contrato. Quanto à decisão de ser a ESE a especificar o plano ou a entidade contratante (proprietário da instalação), depende dos recursos disponíveis que uma das partes terá para a realização das propostas.

O Plano M&V deverá incluir uma descrição do projecto, inventários dos equipamentos na instalação, descrição das propostas das medidas de racionalização de energia (MRE), estimativas de utilização de energia, poupanças e documentação relativamente ao orçamento disponível (para a construção da instalação e da implementação do Plano M&V) [8].

2.8.2. Início das actividades M&V e implementação das MRE

Após a aprovação do Plano M&V, documentação do *baseline* e a conclusão de análises de dados, a etapa seguinte será a implementação do projecto de eficiência. A medição de pré-implementação será realizada em conformidade com a aprovação prévia do Plano M&V. Durante a toda a medição e implementação do projecto, que é realizada pela ESE, os técnicos M&V responsáveis poderão solicitar relatórios de progresso ou realizarem auditorias à instalação.

As principais etapas associadas aos trabalhos de M&V antes da implementação da MRE serão apresentadas de seguida:

1. As medições de pré-implementação são realizadas durante um período de tempo necessário por forma a obter todas as condições de funcionamento dos sistemas afectados e/ou processos. Se a ESE é a entidade responsável pela medição, então a agência de energia conduzirá inspecções nos progressos (e/ou relatórios).
2. Conforme especificado no Plano M&V, a documentação sobre os resultados da pré-implementação de medição/análise será apresentado A agência de energia para uma revisão e aprovação do plano.
3. A agência de energia informa a ESE que a implementação do projecto de eficiência poderá iniciar-se (ou que os esforços de pré-implementação da M&V não se encontram concluídos e será necessário mais esforços por parte da ESE).
4. Inicia-se a implementação do projecto de eficiência.
5. A ESE notifica a agência de energia que a implementação do projecto de eficiência está concluída.

Se não for necessário nenhuma actividade da M&V na pré-implementação do projecto de eficiência, então a aprovação do mesmo realiza-se aquando da aceitação do Plano M&V e eventualmente outra documentação não relacionada com a M&V [8].

2.8.3. Relatório de pós-implementação do projecto

Quando as MRE são implementadas, a ESE notifica a agência de energia que a implementação do projecto está concluída, apresentando o relatório de pós-implementação do projecto de eficiência. Este relatório inclui a informação do projecto, procedimentos de como foi efectuada a sua execução e os cálculos das estimativas de energias e poupanças.

Tipicamente, no primeiro ano as actividades da M&V são realizadas após a apresentação do relatório de pós-implementação do projecto para que o projecto de eficiência possa ser rapidamente aprovado, dando início aos procedimentos de pagamento à ESE. Estas actividades no primeiro ano podem ser efectuada antes da apresentação do relatório, caso sejam actividades de M&V simples e rápidas.

A agência de energia procede a uma revisão do relatório de pós-implementação do projecto, onde realizará uma inspecção minuciosa às MRE. A agência aprovará o relatório face à consistência da informação no relatório, ou reprovará o projecto no caso da informação for inaceitável ou exista algum problema que impeça de tomar uma decisão.

Aprovado o relatório, a ESE terá de apresentar facturas mensais relativamente ao pagamento do primeiro ano, com base na estimativa de poupanças presente no relatório de pós-implementação do projecto [8].

2.8.4. Relatório Anual

As actividades M&V são realizadas periodicamente com base nos termos acordados no contrato e no Plano M&V entre a agência de energia e a ESE.

Os relatórios anuais contêm os custos associados ao projecto, bem como as poupanças de energia. Se o Plano M&V necessitar de várias medições durante um ano, então a ESE terá como função analisar periodicamente os resultados e apresentá-los no relatório anual para uma apreciação e aprovação por parte da agência de energia. Estes relatórios anuais incluem usualmente os resultados da poupança em kWh. Os resultados do relatório anual são utilizados para a verificação dos níveis de poupança e servem de base para a eventualidade de ser necessário a realização de pagamentos de ajuste. Estes mesmos resultados também são utilizados na projecção de poupanças energéticas para períodos contratuais subsequentes e são a base para posteriores pagamentos de períodos contratuais.

As principais etapas associadas ao relatório anual são:

1. Se a ESE é a entidade responsável pelas actividades de medição, então terá de informar o seu início à agência de energia, bem como fornecer eventuais detalhes adicionais para que estas actividades possam ser aprovadas. A medição é assim realizada de forma contínua (ou por um período de tempo necessário por forma a obter todas as condições de funcionamento dos projectos) e/ou processos afectados. A agência durante este período pode realizar inspecções relativamente ao progresso dos procedimentos de medição, conforme seja necessário.
2. Os dados recolhidos na medição, a sua análise e documentação, e verificação da documentação é apresentada no relatório anual como forma de recomendações ou exigências do Plano M&V.
3. Os técnicos responsáveis pela M&V garantem que o relatório e a verificação de documentação sejam concluídos em conformidade com o contrato aprovado na fase de especificação do Plano M&V.

Conforme estipulado no contrato a agência de energia poderá usar o relatório anual para conciliar os pagamentos feitos às ESE em períodos anteriores aos de facturamento, uma vez que, os pagamentos anteriores foram baseados em estimativas de poupanças que agora necessitam de ser ajustados para reflectirem as poupanças reais. As estimativas no relatório também poderão servir como base para futuros pagamentos [8].

2.9. Preparação do Plano M&V

O aspecto de “desempenho” nos contratos de desempenho energético é afectado pela forma como as poupanças energéticas são determinadas. No Plano M&V são definidas as técnicas de como serão calculadas as poupanças do projecto de eficiência, por isso é que o Plano M&V é uma das componentes mais importantes nos contratos de desempenho

energético. Tipicamente a ESE organiza as especificações do Plano M&V para o projecto e a agência de energia procede à revisão e aprovação do mesmo.

2.9.1. Medição

A M&V não consiste apenas na verificação de novos equipamentos instalados e o seu potencial na poupança de energia, mas também inclui a medição de consumos de energia e medição das variáveis relacionadas com a energia. Para determinar as poupanças energéticas, alguns procedimentos de medição devem ser realizados com o intuito de identificar as condições antes e depois da implementação das medidas de racionalização de energia (MRE). Regra geral, um Plano M&V aplicado a um projecto de eficiência deve demonstrar que a medição e monitorização serão realizadas de forma lógica e consistente a níveis de precisão aceitáveis por todas as partes envolvidas. Os relatórios de medição e a monitorização devem abordar exactamente que medições foram efectuadas, com que equipamentos de medição, quando e por quem.

A calibração de sensores e equipamentos de medição deverão seguir padrões conhecidos por forma a garantir que os dados recolhidos sejam válidos. Esta informação deverá ser apresentada à agência de energia juntamente com os relatórios periódicos e condições de pós-implementação [8].

2.9.2. Detalhes do Plano M&V

O Plano M&V consiste num documento que estabelece um conjunto de métodos e técnicas de medição e verificação que são específicas para cada projecto, com o objectivo de determinar as poupanças resultantes de um contrato de desempenho energético. Como a poupança não pode ser medida directamente, uma vez que representa a ausência de consumo de energia, esta é determinada comparando o consumo medido antes e depois da implementação da MRE, sendo necessário realizar alguns ajustes devido a eventuais alterações das condições [6].

Para além de fornecer métodos precisos e conservadores na forma de cálculo da poupança de energia, um bom Plano M&V deverá ser transparente, consistente e repetível. É de referir ainda que na fase de elaboração do Plano M&V, haja a possibilidade de acesso e deslocação às instalações do projecto por parte de um técnico da ESE devidamente identificado. Num contrato a longo prazo, é importante garantir que todos os dados e procedimentos sejam devidamente registados para que possam ser consultados e verificados no futuro [9].

Algumas das actividades de M&V incluem auditorias, medições de energia, recolha e análise de dados, cálculos e finalmente relatórios e procedimentos que garantam os níveis de qualidade [6].

A preparação de um Plano M&V é fundamental na determinação da poupança, onde um planeamento prévio assegura que todos os dados necessários para o seu cálculo estejam disponíveis após a implementação das MREs, dentro de um orçamento aceitável [9].

Portanto, o conteúdo de um Plano M&V de um projecto deve seguir a seguinte estrutura:

- Fornecer uma visão geral da MRE e actividades de verificação:

- Objectivos a alcançar com a implementação da MRE.
- Técnicas utilizadas em cada medição, e se for o caso, qual a opção a adoptar do IPMVP.
- Identificar principais características físicas das instalações ou sistemas.
- Definir adequadamente as condições do período de consumo de referência:
 - Recolha de informação das condições de medição.
 - Definir as condições de operação do período de consumo de referência, como por exemplo horas de operação e cargas.
 - Detalhar a informação relativa aos procedimentos de análise de dados e modelização matemática.
- Definir todas as actividades no período de reporte e de cálculo da poupança:
 - Especificar procedimentos de análise de dados, duração do período de reporte, parâmetros a medir e a ajustar.
 - Definir os procedimentos de garantia da qualidade das informações recolhidas que permitem validar o Plano M&V.
- Detalhar a calendarização de relatórios e procedimentos de M&V periódicos.
- Descrever procedimentos e detalhes de inspecções anuais.
- Descrever os requisitos para relatórios de operação e manutenção.
- Detalhes de como as poupanças serão calculadas:
 - Fornecer justificações e procedimentos para qualquer ajuste de energia no período de consumo de referência ou de reporte.
 - Detalhar como os efeitos interactivos serão tratados [6].

2.9.2.1. Plano M&V - Descrição dos pontos essenciais

Um Plano M&V completo segundo o IPMVP, deve incluir a descrição dos seguintes pontos:

Pontos	Descrição
1 Objectivo da MRE	Descrever a MRE, o resultado pretendido e os procedimentos da colocação em serviço, que serão utilizados para verificar o sucesso da implementação de cada MRE. Identificar todas as alterações planeadas às condições do consumo de referência, tal como a regulação da temperatura de um edifício desocupado.
2 Opção do IPMVP seleccionada e fronteira de medição	Especificar que opção do IPMVP será usada para determinar a poupança. Identificar a fronteira de medição da determinação da poupança. Descrever a natureza de quaisquer efeitos interactivos para além da fronteira de medição juntamente com os seus efeitos possíveis.
3 Referência: Período, energia e condições	Documentar as condições do consumo de referência da instalação e os dados de energia, dentro da fronteira de medição. A documentação do consumo de referência necessária ao Plano M&V é fornecida habitualmente quase toda por uma auditoria

energética (utilizada para estabelecer os objectivos de um programa de poupança ou os termos de um contrato de desempenho energético).

A documentação do consumo de referência exige geralmente auditorias bem documentadas e a extensão desta informação é determinada pela fronteira de medição escolhida ou o propósito da determinação da poupança. Quando os métodos de M&V de toda a instalação são empregues, todo o equipamento e condições da instalação devem ser documentados.

- | | | |
|----|---|---|
| 4 | Período de reporte | Identificar o período de reporte (este período pode ser tão curto como uma medição instantânea durante a colocação em serviço de uma MRE, ou tão longo quanto o tempo necessário para recuperar o custo do investimento da MRE). |
| 5 | Base para o ajuste | Declarar o conjunto de condições ao qual todas as medições de energia serão ajustadas. As condições podem ser as do período de reporte ou um outro conjunto de condições fixas. |
| 6 | Procedimento de análise | Especificar os procedimentos exactos de análise de dados, algoritmos e hipóteses a ser usadas em cada relatório de poupança. Para cada modelo matemático usado, reportar todos os seus termos e a gama de variáveis independentes para o qual é válido |
| 7 | Preços de energia | Indicar os preços da energia que serão empregues para avaliar a poupança, e se for o caso, como a poupança será ajustada se os preços mudarem no futuro. |
| 8 | Especificações dos equipamentos de medição | Especificar os pontos de contagem e período(s) se a contagem não for contínua. Para os contadores que não são das empresas comercializadoras de energia, especificar: as características da contagem, a leitura do contador e protocolo de confirmação, procedimentos da colocação em serviço do contador, processo de calibração de rotina e método de tratamento de dados perdidos. |
| 9 | Responsabilidades de monitorização | Atribuir as responsabilidades de reportar e registar os dados de energia, variáveis independentes e factores estáticos dentro da fronteira de medição durante o período de reporte. |
| 10 | Precisão esperada | Avaliar a precisão esperada associada à medição, recolha de dados, amostragem e análise de dados. Esta avaliação deve incluir medidas qualitativas e todas as medidas quantitativas possíveis do nível de incerteza nas medições e ajustes a usar no relatório de poupança planeado. |

- | | | |
|----|------------------------------|--|
| 11 | Orçamento | Definir o orçamento e os recursos necessários para a determinação da poupança, os custos iniciais estabelecidos e os custos contínuos durante o período de reporte. |
| 12 | Formato do relatório | Indicar como os resultados serão reportados e documentados. Deve ser incluída uma amostra de cada relatório. |
| 13 | Garantia de qualidade | Especificar os procedimentos de garantia de qualidade que serão empregues para os relatórios de poupança e todos os passos provisórios na preparação dos relatórios. |

2.9.3. Efeitos interactivos

É perceptível que as MRE e os sistemas de utilização de energia interagem entre si.

Os efeitos interactivos entre as várias medidas implementadas (MRE) muitas das vezes não são conhecidos e os métodos que permitem a realização de medições dos mesmos são não rentáveis em muitos dos casos.

A determinação dos níveis de poupanças associados aos efeitos interactivos pode ser calculada de várias formas tais como:

1. Ignorar simplesmente os efeitos interactivos.
2. Os valores de referência podem ser atribuídos com base na informação disponível ou em simulações de modelos computacionais.
3. Propor um método de medição da estimativa dos efeitos interactivos.

2.9.4. Cálculo dos custos de energia

O objectivo principal do contrato de desempenho energético (CDE) é a redução da utilização de energia e/ou custos de manutenção numa instalação. O Plano M&V deverá ser projectado de modo a fornecer informação relativamente à utilização de energia para que as poupanças económicas possam ser estimadas.

Por exemplo, as poupanças económicas serão determinadas através do cálculo de poupanças energéticas com o custo unitário de energia poupada. O custo unitário de energia que será utilizado no cálculo das poupanças económicas deverá ser definido com detalhe no contrato para que seja possível o seu cálculo por cada um dos factores que afecta as poupanças. Estes factores incluem número de kWh poupados, factor de potência e tarifas de energia.

2.10. Particularidades do IPMVP

O IPMVP é um protocolo de orientação que fornece um quadro conceptual em medição, computação e poupanças conseguidas por projectos de eficiência energética. Define alguns termos-chave e descreve problemas que devem ser considerados no desenvolvimento de um Plano M&V, porém, não fornece detalhes específicos quanto às medidas ou tecnologias.

Descreve procedimentos para a determinação de abordagens de M&V através da avaliação de planos e relatórios por forma a estabelecer uma base de poupança de energia durante o contrato [6].

A adesão deste protocolo requer a realização de um Plano M&V exclusivo mediante as características do projecto onde se pretende implementar. Devem ser estabelecidas as opções, métodos de medição e de análise, procedimentos de garantia da qualidade e a(s) pessoa(s) responsáveis pela M&V [1].

O IPMVP promove investimentos eficazes através das seguintes actividades:

- Documenta termos comuns e métodos para avaliar o desempenho energético de projectos de eficiência para clientes, fornecedores e financeiros. Alguns destes termos e métodos podem ser utilizados em acordos de projectos, embora o IPMVP não disponibilize linguagem contratual.
- Fornece métodos, com diferentes níveis de custo e exactidão, para determinar poupanças para toda a instalação ou para medidas individuais de racionalização de energia.
- Específica, o conteúdo de um Plano M&V que adere aos princípios fundamentais da M&V definidos no protocolo. Deve ser desenvolvido um Plano M&V para cada projecto por um profissional qualificado.
- Possui uma aplicação de grande variedade de instalações, incluindo edifícios novos, edifícios já existentes e processos industriais [1].

2.10.1. Plano M&V

O Plano M&V é um documento que estabelece procedimentos específicos de medição e métodos de verificação com o objectivo primordial de obtenção de poupanças em projectos de eficiência energética [6]. O plano deve ser elaborado de acordo com as características da instalação e dos equipamentos ou sistemas que se pretendem aumentar os níveis de eficiência através da implementação das MRE. Deste modo, é conveniente o registo dos dados de consumos de referência e dos detalhes das MREs, isto no caso de existir alguma alteração das condições futuras ou seja necessário proceder à actualização das respectivas medidas [1].

2.10.2. Selecção de uma abordagem M&V

O principal objectivo da medição e verificação consiste em validar os pagamentos ou as garantias de desempenho, onde os custos do próprio procedimento M&V deverá ser inferior ao valor do pagamento ou garantias que estão em risco. Visto isto, a função da M&V não reside necessariamente em reportar um número preciso da poupança de energia, mas sim assegurar

que as empresas de serviços de energia (ESE) realizem o seu trabalho de acordo com as condições estabelecidas inicialmente no contrato de desempenho do projecto e que a poupança de energia resultante seja razoavelmente próxima da poupança prevista.

A definição do nível de rigor e precisão da M&V é a base que protege o investimento num projecto e que satisfaz os requisitos legislativos. A consideração detalhada do tipo de M&V beneficia ambas as partes e pode ajudar a mitigar possíveis problemas durante o período de execução.

Geralmente a escolha de um método específico de M&V a aplicar num projecto baseia-se nos seguintes pontos:

- Poupanças energéticas e económicas previstas, bem como os custos do projecto;
- Complexidade das MRE;
- Número de MRE aplicadas numa única instalação;
- Incerteza ou risco de poupanças a serem alcançadas.

Portanto, o esforço que é necessário para a verificação do eventual potencial de desempenho de um projecto e o seu desempenho real variam para cada projecto.

O contrato e/ou Plano M&V específico de um projecto, deve ser preparado com base nos requisitos M&V necessários, bem como análises de dados e custos. Desta forma, a escolha de opções, técnicas e metodologias M&V a utilizar devem ser estabelecidas de acordo com o contrato de desempenho energético de cada projecto [6].

2.10.3. Determinação das poupanças

Implementadas as MRE, as poupanças de energia são determinadas uma única vez, continuamente ou em intervalos regulares tal como acordado pela ESE e pelo cliente no Plano M&V.

A utilização de energia no período de consumo de referência, no período de reporte e de energia poupada pode ser determinada utilizando uma ou mais das seguintes técnicas de M&V:

- Cálculos de engenharia;
- Medição e monitorização;
- Facturas da empresa do sector energético ou do fornecedor de combustível;
- Simulações computacionais.

O cálculo das poupanças normalmente é dependente da opção de M&V e método escolhido para a medida. Por vezes torna-se conveniente o uso combinado de opções de M&V para se ajustar um conjunto de medidas, por exemplo, num edifício com várias medidas é vantajoso a escolha integrada das opções A e B do IPMVP [6].

2.11. Opções do IPMVP - Visão Geral

As quantidades de energia podem ser medidas por uma ou mais das seguintes técnicas:

- Facturas da empresa do sector energético ou do fornecedor de combustível, ou leitura dos contadores da empresa do sector energético.
- Contadores especiais que isolam a MRE ou parte da instalação do resto da instalação.
- Medições separadas de parâmetros usados no cálculo do consumo de energia.
- Medição de provas de substituição de consumo de energia.
- A simulação por computador que é calibrada com alguns dados de desempenho energético reais para o sistema ou instalação a ser modelados [1].

O IPMVP oferece quatro opções de Medição e Verificação (A, B, C e D) que correspondem a abordagens diferentes para os projectos de eficiência energética. Significa por isso que seguem orientações para determinar a poupança de energia com diferentes níveis de incerteza, custo e metodologia.

A opção seleccionada resulta das condições apresentadas, nomeadamente o local de fronteira de medição (ver secção 2.6.3). Se o que se pretende é determinar a poupança ao nível da instalação, então a opção C ou D poder apresentar vantagem, no entanto, se apenas se pretende considerar o desempenho energético da própria MRE já uma técnica de medição isolada da MRE pode ser a mais ajustada (opção A, B ou D) [1].

As abordagens M&V estão divididas em dois tipos: medição isolada da MRE e medição global da instalação. Os métodos de medição isolada apenas se preocupam com os equipamentos afectados ou com os sistemas independentes do resto da instalação. No caso dos métodos de medição global o uso da energia total é bastante importante, já a performance dos equipamentos é irrelevante. Assim, a escolha da opção correcta implica muitas considerações incluindo o local da fronteira de medição, que deverá ponderar toda a energia utilizada como demonstra a figura 2.6:

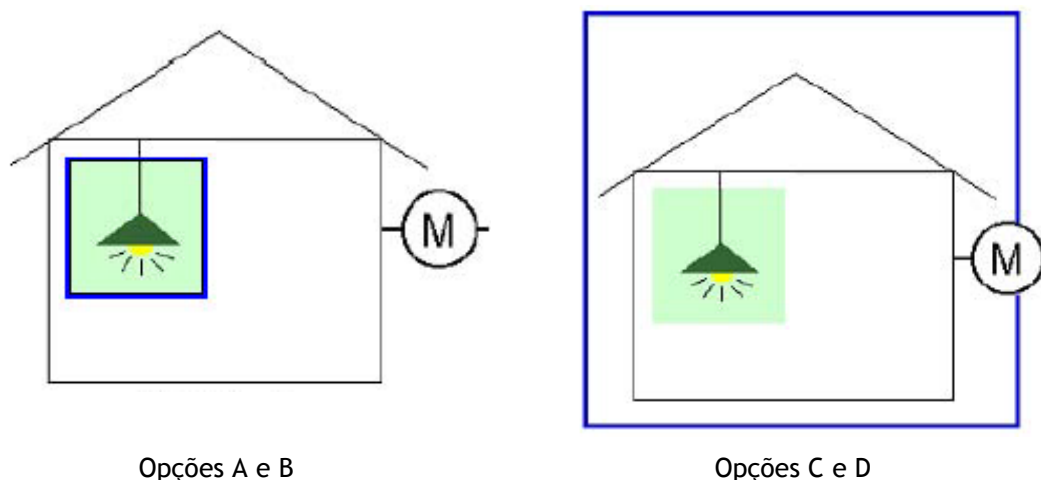


Figura 2.6 – Exemplos da fronteira de medição [6].

A escolha das opções A, B ou D é quando estamos perante situações onde apenas é necessário ter em conta o desempenho energético isolado da própria MRE, já as opções C ou D permitem determinar a poupança ao nível da instalação. É de notar que a opção D pode ser aplicada em ambos os casos, mas de uma maneira geral, esta opção deverá ser escolhida em metodologias de medição global.

O seguinte exemplo demonstra como a opção A deverá ser escolhida: “se um valor de energia for conhecido com precisão adequada ou no caso de ser mais dispendioso medir esse mesmo valor, então a medição de energia pode não ser necessária, logo, nestes casos o ideal será realizar estimativas a partir de alguns parâmetros da MRE.” [1].

2.11.1. Opção A e B: Medição isolada da MRE

2.11.1.1. Opção A: medição dos parâmetros chave

A opção A consiste numa abordagem destinada à melhoria isolada onde parâmetros chave (ex.: capacidade instalada, procura) são medidos instantaneamente ou a curto prazo e os factores operacionais (ex.: número de horas de funcionamento da iluminação) são baseados em dados históricos ou em medições a curto prazo.

Quando um parâmetro é constante e não se espera que venha a ser influenciado pela implementação da MRE, então a sua medição durante o período de reporte é suficiente. A medição de um parâmetro constante no período de reporte pode também ser considerada uma medição do seu valor de consumo de referência [1].

Sempre que um parâmetro, conhecido por variar independentemente, não for medido na instalação durante os períodos de consumo de referência e de reporte, o parâmetro deve ser tratado como estimativa. Sendo assim, é necessário ter especial atenção com a revisão da concepção e instalação para garantir que as estimativas são realistas, realizáveis e baseadas em equipamentos que devem de facto produzir a poupança prevista.

Durante o período de reporte, a instalação deve ser inspeccionada para verificar a existência permanente do equipamento e o seu funcionamento adequado, bem como a sua manutenção. Estas inspecções permitem garantir assim a continuação do potencial para criar a poupança prevista e validar os parâmetros estimados [1].

Uma das vantagens da opção A é que possui um vasto número de aplicações, contudo a certeza desta opção é inversamente proporcional à complexidade do caso em estudo. Assim, o grau de certeza da poupança estimada é tanto melhor quanto mais simples for a situação em análise. Esta poupança é determinada pelos parâmetros chave de medição como a capacidade, eficiência, ou níveis de operação de sistema antes e depois das acções de melhoria.

Aplicações típicas da opção A

A determinação da poupança com a opção A pode ser menos dispendiosa do que relativamente às outras opções, considerando que o custo de estimar um parâmetro é muitas vezes significativamente menor do que o custo da medição. Visto isto, as melhores aplicações desta opção são quando:

- A estimativa de parâmetros chave pode evitar ajustes não periódicos difíceis, no aparecimento de alterações futuras dentro da fronteira de medição.
- A incerteza criada pelas estimativas é aceitável.
- A eficácia contínua da MRE pode ser avaliada por uma simples inspecção de rotina dos parâmetros chave.
- É uma opção menos dispendiosa do que nos casos onde é necessário medição (opção B) ou simulação (opção D) [1].

2.11.1.2. Opção B: medição de todos os parâmetros

A opção B é destinada a medidas de racionalização de energia com um perfil de carga variável. Tanto os parâmetros chave como os factores operacionais são medidos em curto prazo, continuamente em todo o período do contrato ao nível do equipamento ou do sistema. Requer assim a medição de todas as quantidades de energia (período de consumo e de reporte), ou de todos os parâmetros necessários para calcular a energia [1].

A poupança criada pela maior parte dos tipos de MRE pode ser determinada através da opção B, no entanto, o grau de dificuldade e os custos aumentam em função da complexidade da medição. A frequência de medição vai desde o curto prazo a contínua, dependendo das variações esperadas na poupança e da duração do período de reporte [1].

Aplicações típicas da opção B

A opção B deverá ser aplicada quando:

- Os contadores acrescentados para fins de isolamento serão empregues para outros fins, tal como para informação operacional ou a facturação locatário.
- A medição de todos os parâmetros é menos dispendiosa do que a simulação (opção D).
- A poupança ou as operações dentro da fronteira de medição são variáveis [1].

2.11.2. Opção C: Toda a instalação

A opção C envolve toda a instalação, bem como a análise de dados e procedimentos que permitam avaliar a melhoria do projecto [6]. Implica a utilização de contadores da empresa do sector energético, contadores de toda a instalação, ou sub-contadores para avaliar o desempenho energético de toda a instalação [1].

Esta opção permite determinar a poupança de todas as MRE aplicadas à parte da instalação monitorizada pelo contador de energia, onde a fronteira de medição inclui toda a instalação ou uma grande parte desta [1]. A utilização desta opção impossibilita a determinação duma poupança individual dos equipamentos pertencentes ao sistema.

É destinada a projectos onde a poupança esperada é grande comparada com as variações de energia aleatórias ou inexplicáveis que ocorrem ao nível de toda a instalação [1]. Geralmente a poupança deverá estar compreendida entre os 10% a 20% de um consumo de referência (mensal) de energia [6].

As ferramentas de análise de dados poderão ser modelos de regressão multivariáveis, modelos que prevêem os níveis de consumo energia através de variáveis independentes ao projecto, ou técnicas matemáticas simples que permitam realizar comparações. Contudo os modelos de regressão são mais precisos, uma vez que, têm em conta as condições meteorológicas e outras variáveis independentes (parâmetros que mudam regularmente e afectam o consumo de energia da instalação) que as técnicas simples de comparação não possuem [1].

O principal objectivo associado à opção C é a identificação de eventuais mudanças na instalação, que requerem ajustes especialmente quando a poupança é monitorizada por longos períodos. Assim é necessário a realização de inspecções periódicas a todo o equipamento e operações da instalação durante o período de reporte [1].

Aplicações típicas da opção C

As aplicações típicas para a opção C são quando:

- O desempenho energético de toda a instalação será avaliado, não apenas o das MREs.
- Existem muitos tipos de MREs numa instalação.
- As MREs implicam actividades cujo consumo individual de energia é difícil de medir separadamente (formação do operador, melhoramento das paredes ou janelas, por exemplo).
- A poupança é grande comparada com a variação dos dados no consumo de referência, durante o período de reporte.
- Quando as técnicas de medição isoladas de MRE (Opção A ou B) são excessivamente complexas. Por exemplo, quando efeitos interactivos ou interacções entre MREs são substanciais.
- Não são previstas grandes mudanças futuras na instalação durante o período de reporte.
- Um sistema de localização dos factores estáticos pode ser estabelecido para permitir efectuar possíveis ajustes futuros não periódicos.
- Podem-se encontrar correlações razoáveis entre o consumo de energia e outras variáveis independentes [1].

2.11.3. Opção D: Simulação calibrada

A simulação calibrada implica a utilização de *software* de simulação computadorizada para prever a energia da instalação (energia de consumo de referência e energia do período de reporte).

A vantagem desta opção como já foi referida anteriormente, é a sua aplicação tanto na melhoria isolada como global. No caso da melhoria isolada, semelhante às opções A e B, pode ser usada para avaliar apenas o desempenho energético de sistemas individuais numa instalação. Visto que o consumo de energia do sistema deve ser isolado do resto da instalação através de contadores apropriados. No caso da melhoria global, é semelhante à opção C no que diz respeito à avaliação do desempenho energético de todas as MREs numa instalação,

contudo, a ferramenta de simulação permite também estimar a poupança atribuível a cada MRE num projecto de múltiplas MREs [1].

A opção D consiste assim num modelo de simulação que avalia os níveis de poupança previstos e deverá ser usado em situações como: inexistência ou indisponibilidade de dados de energia do consumo de referência, indisponibilidade ou difícil quantificação dos dados da energia do período de reporte, e quando é pretendido determinar a poupança associada a MREs individuais onde as opções A ou B seriam bastante dispendiosas. É ainda de referir que esta opção é a abordagem principal de M&V para avaliar as inclusões de eficiência energética na concepção de novas instalações [1].

A metodologia tipicamente a seguir pela opção D consiste em cinco passos:

1. Recolha de dados.
2. Teste do modelo de referência com as entradas.
3. Calibração do modelo de referência.
4. Criar e refinar o modelo período de performance.
5. Verificar performance e calcular as poupanças [6].

A poupança é calculada através de uma ou mais estimativas completas do consumo de energia. A precisão da poupança depende do bom desempenho dos modelos de simulação do equipamento e do desempenho energético contabilizado.

A calibração é feita por comparação de um conjunto de dados de calibração (incluem dados de energia medidos, variáveis independentes e factores estáticos) e da previsão de padrões de energia da instalação.

Aplicações típicas da opção D

A Opção D é utilizada habitualmente, quando nenhuma outra opção é praticável::

- Os dados de energia do consumo de referência ou os dados de energia do período de reporte, mas não ambos, estão indisponíveis ou não são de confiança;
- Existem demasiadas MREs para avaliar, usando as Opções A ou B;
- As MREs implicam actividades difusas, que não podem ser facilmente isoladas do resto da instalação, tal como formação do operador ou melhoramentos das paredes e janelas;
- O desempenho energético de cada MRE será estimado individualmente dentro de um projecto de múltiplas MRE, mas os custos das Opções A ou B são excessivos;
- Interações entre as MREs ou os efeitos interactivos da MRE são complexos, fazendo com que as técnicas de isolamento das Opções A e B sejam impraticáveis;
- São esperadas grandes alterações futuras na instalação durante o período de reporte, e não há forma de seguir as alterações e/ou avaliar o seu impacto no consumo de energia;
- A instalação e as MREs podem ser modeladas por *software* de simulação bem documentado;
- Apenas o desempenho energético de um ano é medido, imediatamente após a instalação e acordo do programa de gestão de energia [1].

2.11.4. Determinação da melhor opção do IPMVP

De acordo com o IPMVP, o procedimento de determinação da melhor opção a aplicar num sistema ou instalação com o objectivo de melhorar a sua eficiência energética, deverá seguir a figura 2.7:

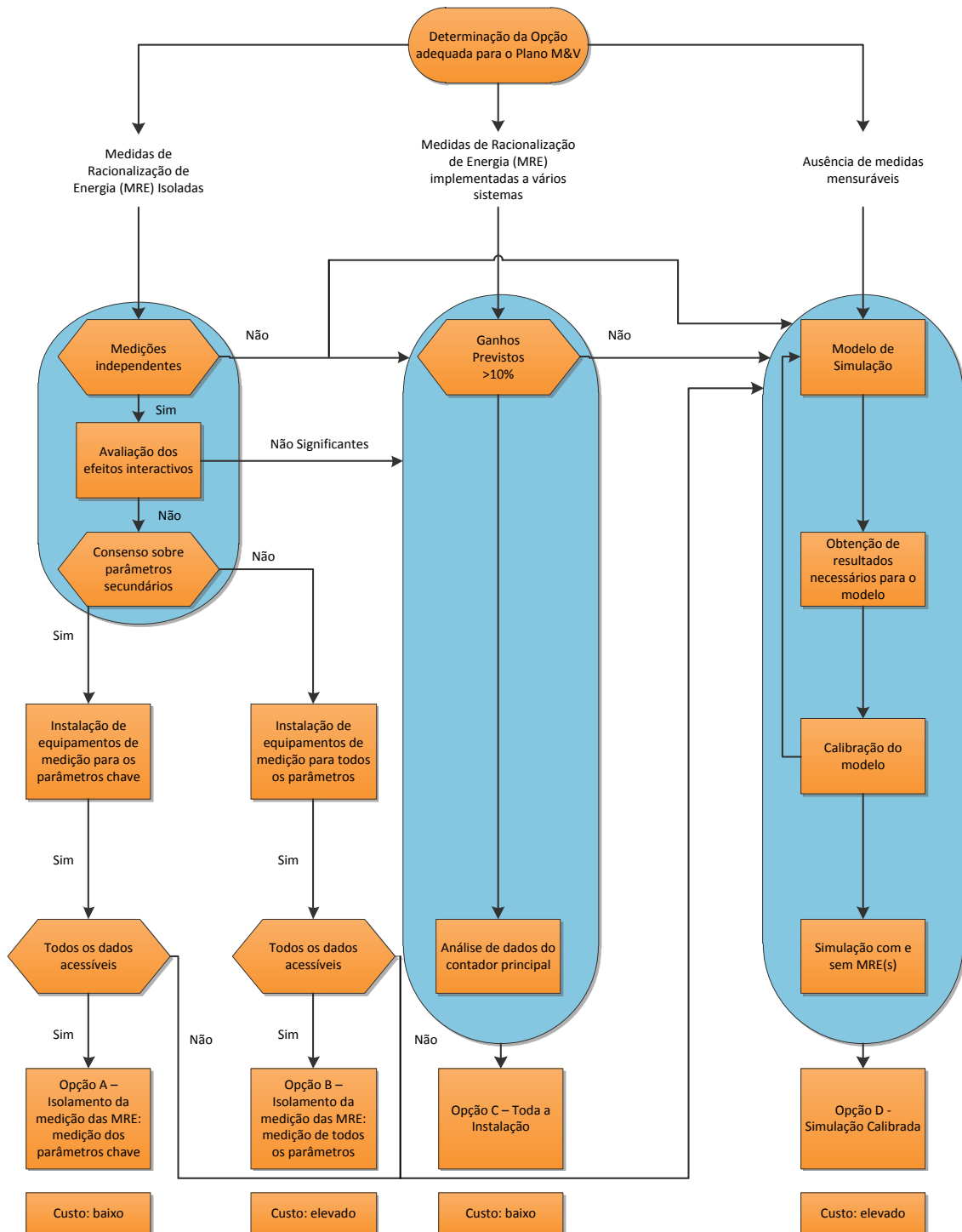


Figura 2.7 – Diagrama da melhor opção segundo o IPMVP [6].

2.12. Contratos de desempenho energético

O contrato de desempenho energético (CDE) vincula um operador de um cliente, proprietário ou gerente (públicos ou privados) de edifícios residenciais, terciários ou industriais [10]. Caracteriza-se por um conjunto abrangente de medidas de eficiência energética, energias renováveis e de geração distribuída, onde normalmente é acompanhado pela garantia que a economia produzida num projecto será suficiente para o financiamento do custo total do mesmo. Um projecto típico de CDE é emitido por uma ESE e é composto pelos seguintes elementos:

- **Serviço-chave** - a ESE fornece todos os serviços necessários para projectar e implementar um projecto, desde uma auditoria inicial de energia através da monitorização a longo prazo até à verificação da poupança do projecto.
- **Medidas necessárias** - são criadas medidas essenciais que satisfaçam as necessidades de um dado projecto, que incluem a eficiência energética, energias renováveis, geração distribuída, conservação de águas e materiais sustentáveis e operações.
- **Financiamento do projecto** - a organização para o financiamento de projectos a longo prazo é realizado por uma companhia financeira de terceiros. Este financiamento é tipicamente uma forma de locação operacional ou municipal.
- **Garantias económicas do projecto** - a ESE oferece a garantia que as economias produzidas pelo projecto serão suficientes para cobrirem o custo de financiamento durante todo o período de vida do projecto [11].

Todos estes serviços são agrupados em custos do projecto e são reembolsados por meio da remuneração proveniente das poupanças geradas. A ESE encarrega-se de suportar os custos de aquisição e instalação de novos equipamentos e o cliente paga à ESE durante o tempo de vida do contrato, dividindo os proveitos resultantes do projecto. Estas empresas são ainda responsáveis por fazer manutenções periódicas aos equipamentos, tal como medir constantemente os consumos energéticos e as poupanças [11].

Um contrato deverá definir os valores de referência, âmbito, condições e interpretações. Especificar as soluções de financiamento, técnicas, obrigações e responsabilidades. Estabelecer um plano de execução do projecto de engenharia e de medição e verificação, o protocolo de partilha de poupança e o protocolo para resolução de litígios, activação de seguros e alterações de contrato [11]. Neste contexto, o Plano M&V contribuirá para a fiabilidade do contrato e deverá desempenhar um papel decisivo no estabelecimento da relação entre cliente e ESE/financiador. Apesar do plano ser um documento definido pela ESE, este terá de ser aprovado por todos participantes envolvidos. Na figura 2.8 é apresentado um esquema sobre a relação entre cliente e ESE/financiador:

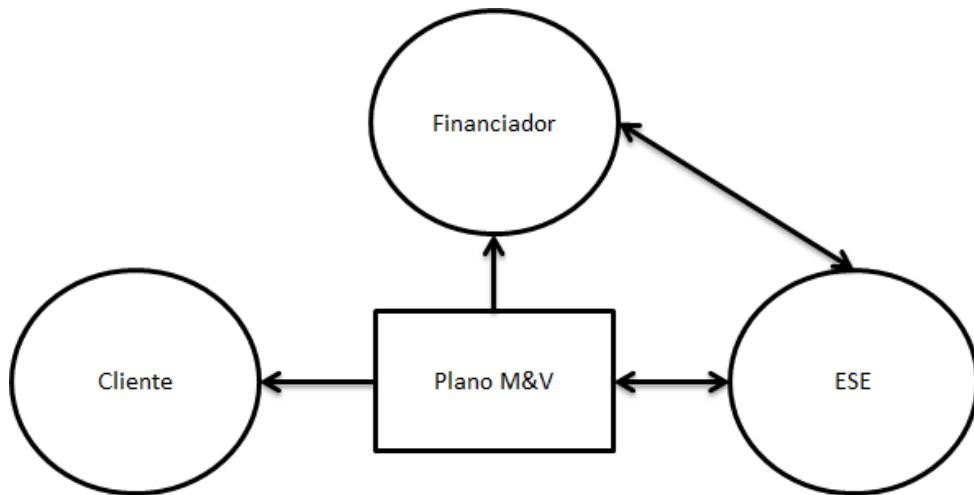


Figura 2.8 – Importância da medição e verificação na realização do CDE.

Na figura 2.9 pode-se verificar como se processa a distribuição dos proveitos resultantes do investimento nas medidas de racionalização de energia, durante e após o período do contrato ESE:

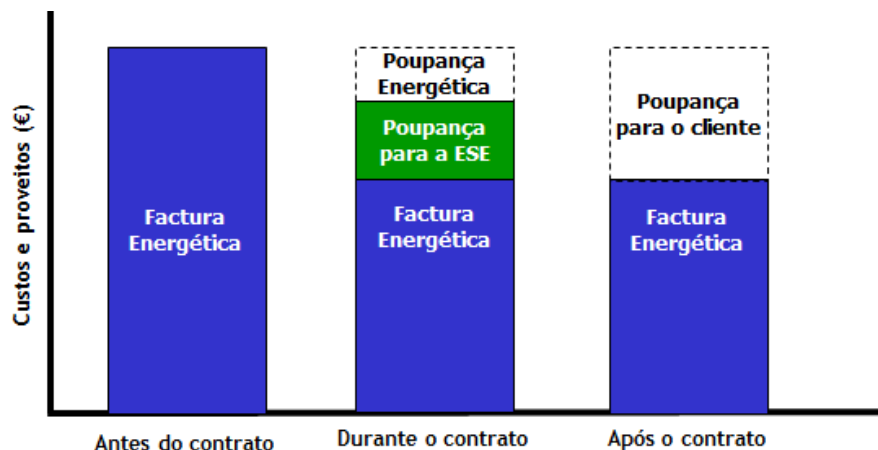


Figura 2.9 – Distribuição dos custos e proveitos [12].

O tempo de retorno do projecto depende da evolução das poupanças verificadas face às poupanças calculadas, isto é, se as poupanças verificadas forem superiores às calculadas o tempo de retorno é inferior ao planeado, podendo nesse caso existir um reajuste da duração do contrato. No caso das poupanças verificadas forem inferiores ao previsto o período do contrato pode ser estendido por mais anos [13].

Um contrato do tipo CDE deve incluir o valor do qual o cliente terá de pagar para cessar o contrato com a ESE em qualquer altura ou para que este possa ser revendido a terceiros.

No contrato ESE é contemplado:

- MRE a implementar (descrição e impacto).
- Previsão da energia evitada após a implementação da MRE.
- Condições de operação dos sistemas pré e pós alteração.
- Estimativa de consumo com base em condições de funcionamento acordadas entre a ESE e cliente.

- Plano e custos de M&V.
- Metodologia que será usada na verificação.
- Especificação de períodos e pontos de medição, caracterização das medidas.
- Orçamento para determinação das poupanças.

Assim, um projecto ESE terá de ser constituído por três fases, considerando que existe sempre uma fase anterior ao projecto, uma auditoria energética, esta não tem obrigatoriamente que ser efectuada pela ESE. Esta fase tem de ser paga pelo cliente, pois ainda não existe qualquer contrato nem é possível estabelecê-lo, uma vez que não se sabe quais os benefícios que se podem obter na instalação do cliente [14].

Existem casos em que não é necessário existir uma auditoria preliminar ao projecto se o cliente possuir dados do sistema, se o sistema tiver sido alvo de um estudo detalhado ou tiver um projecto de implementação [15]. Se o projecto ESE apenas se limitar a trocar um equipamento ou parte deste não é necessária uma auditoria geral ao edifício.

De seguida é apresentado um esquema de um projecto ESE na figura 2.10:

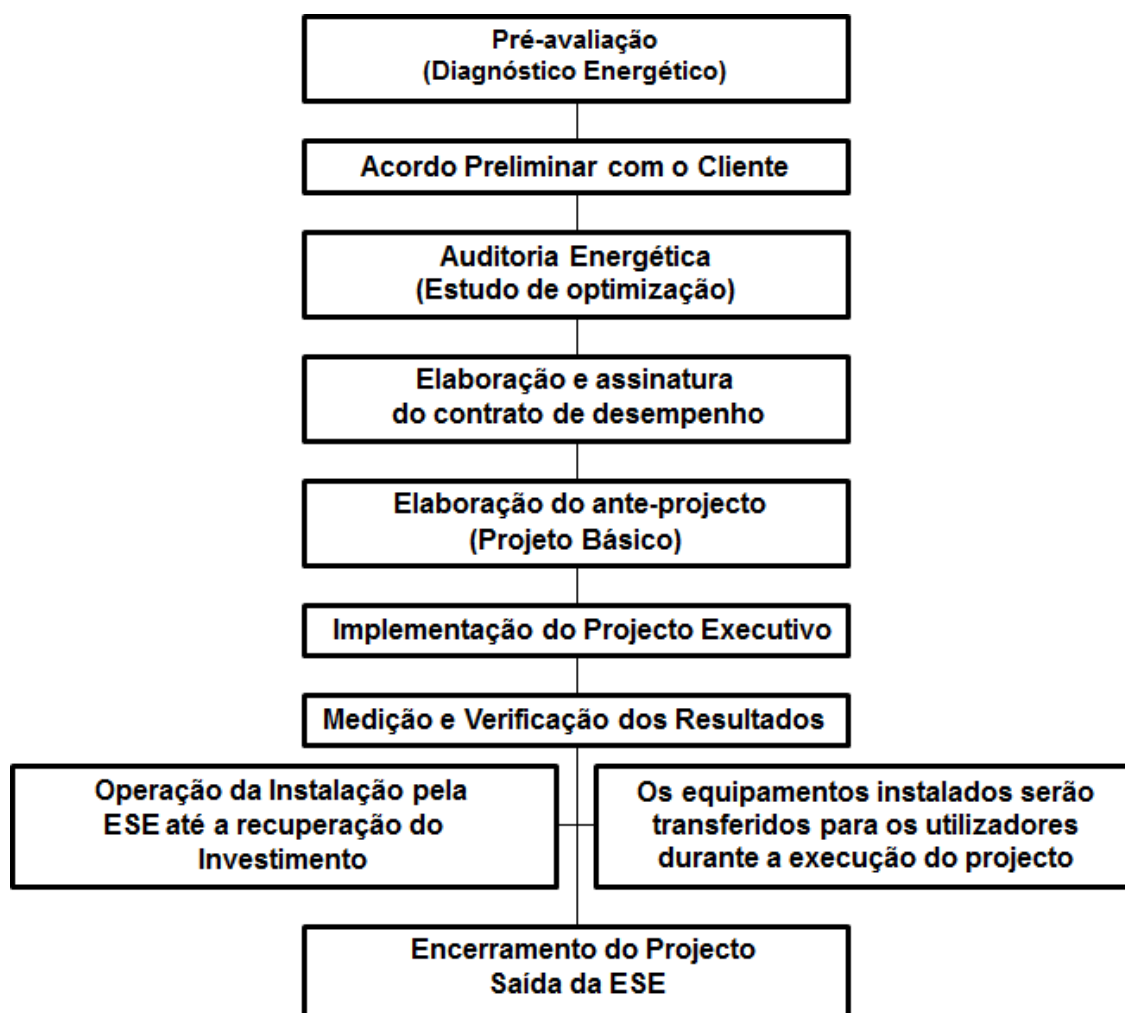


Figura 2.10 – Fases de um projecto ESE [16].

2.13. Incerteza na M&V

A medição de uma quantidade qualquer inclui sempre erros, isto porque nenhum instrumento de medição é 100% preciso. Os erros resultam das diferenças entre o consumo de energia observado e o de referência, onde as poupanças de energia são tipicamente baseadas em valores medidos, que na realidade correspondem de certa forma a estimativas.

No processo de determinação da poupança existem dois tipos de erro de medição bastante comuns (energia do período do consumo de referência e do período de reporte) e todos os erros existentes nos ajustes calculados [1].

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

- Instrumentação - os erros de equipamentos de medição são devidos à calibração, medição inexata ou selecção incorrecta da instalação ou funcionamento do contador.
- Modelação - incapacidade de encontrar formas matemáticas que expliquem completamente todas as variações do consumo de energia (forma funcional inadequada, inclusão de variáveis irrelevantes ou exclusão de variáveis relevantes).
- Amostragem - a utilização de uma amostra da totalidade dos equipamentos ou acontecimento para representar a população inteira, induz em erro.
- Efeitos interactivos - efeitos que não estão completamente incluídos na metodologia de cálculo da poupança.
- Estimativa dos parâmetros - a estimativa de parâmetros induz em erro. Pode-se minimizar a variação entre o valor estimado do parâmetro e o seu verdadeiro valor através da revisão da concepção da MRE ou da inspecção da MRE após a sua instalação [1].

Os relatórios de poupança são os documentos que permitem determinar a poupança de energia e por isso devem denotar níveis razoáveis de incerteza. Por forma a garantir que a incerteza seja aceitável, é necessário gerir os erros inerentes à medição e análise de dados no acto de desenvolvimento e implementação o Plano M&V. Os erros relativos à medição têm origem na qualidade dos equipamentos de medição, técnicas de medição e a concepção do procedimento de amostragem. Os erros associados à análise de dados estão habitualmente associados pela qualidade dos dados de medição, bem como eventuais estimativas necessárias. O processo de redução dos erros, aumenta consideravelmente o custo da M&V e por esta razão, um valor de incerteza melhorada deverá ser justificada consoante os níveis exigidos e pela qualidade dos dados recolhidos [1].

Um dos desafios da M&V consiste em oferecer uma precisão adequada, assegurando que os custos sejam razoáveis. Na figura 2.11 é possível visualizar que o valor incremental das informações obtidas por medições e verificações adicionais será num determinado ponto inferior ao custo necessário para a sua obtenção:

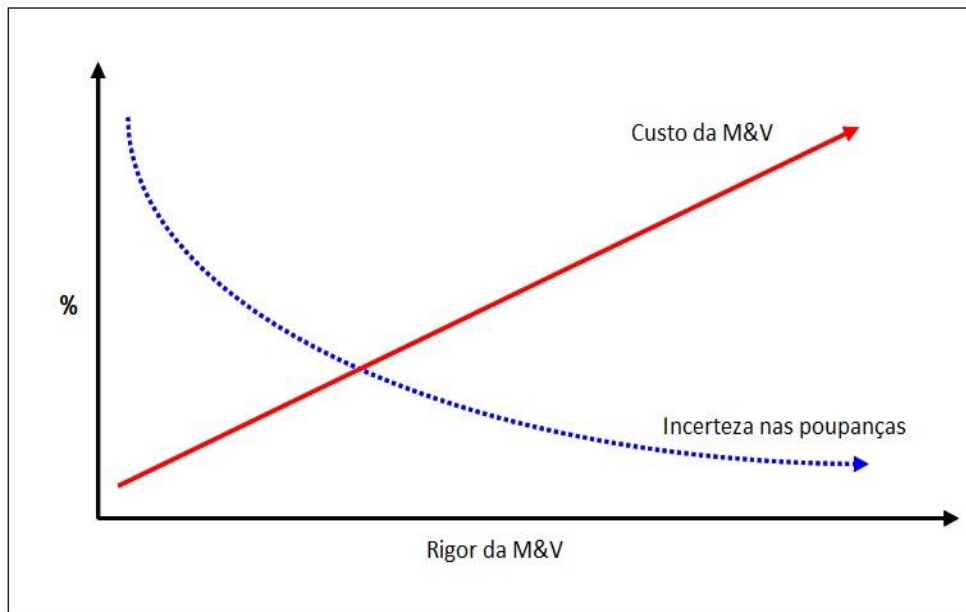


Figura 2.11 – Lei dos proveitos decrescentes da M&V [6].

Capítulo 3

Guia de Medição e Verificação

Neste capítulo será apresentado o “Guia de Medição e Verificação” para a realização de um Plano M&V. Os conceitos que serão abordados, muitos deles criados com o propósito de explicar detalhadamente os procedimentos da medição e verificação, permitem uma melhor compreensão da realização do plano, bem como tentar estabelecer uma linha uniforme para a M&V.

3.1. Definição de fronteiras

A base de um processo de medição assenta na definição das fronteiras de medição e fronteiras de utilização. As fronteiras de medição integram os circuitos de fluxo energético e as unidades de medição propriamente ditas. As fronteiras de utilização definem o espaço onde a energia final é utilizada e consumida, podendo existir dentro desta fronteira medidas de estado associadas às condições de consumo. As duas fronteiras deverão idealmente ser coincidentes, no entanto, tal é muitas vezes difícil de se conseguir por questões técnicas ou por implicar elevados custos do processo M&V.

Enquadramento com o IPMVP:

A caracterização neste guia é mais abrangente e específica que a abordagem no âmbito do IPMVP. O protocolo IPMVP considera apenas a existência do conceito de fronteira de medição mas com uma descrição em que se confunde ou coincide a fronteira de medição e a fronteira de utilização. Nos casos de Opção A e B do protocolo as fronteiras são definidas para uma medida de eficiência enquanto as Opções C e D as fronteiras são definidas para todo um edifício. Nas Opções B e C o processo de medição incide efectivamente sobre a fronteira de medição. Na opção A, a metodologia caracteriza uma fronteira de medição para o período de referência e uma fronteira de utilização correspondente para o período de reporte. A opção D baseia-se em simulação e aplica-se a sistemas não existentes, consequentemente não existe uma fronteira de medição, apenas existe uma fronteira de utilização dentro da qual se faz a simulação do consumo de energia.

Recomendações:

- a) A elaboração do Plano M&V deve iniciar-se pela caracterização de ambas as fronteiras, de medição e de utilização. Caracterização destas fronteiras permitirá definir os circuitos energéticos, os espaços, as unidades de medição de fluxo e as unidades de medição de estado. Esta definição é baseada num conjunto organizado de tabelas e gráficos.
- b) As fronteiras de medição e de utilização devem manter-se quanto possível coincidentes. Quando tal não acontece corre-se o risco de haver uma inconsistência entre a energia medida e a energia utilizada. Quando tal não é possível devem ser definidos modelos de ajuste entre a energia utilizada, dentro da fronteira de utilização, e a energia consumida, medida no limite da fronteira de medição.
- c) As fronteiras de medição devem manter-se as mesmas no período de referência e no período de reporte. As alterações devem ser monitorizadas e identificadas no processo de verificação. Quando ocorrem alterações deverá obrigatoriamente proceder-se à aplicação de modelos de ajuste predefinidos para aplicar nestas situações.

3.1.1. Definição da fronteira de medição

A fronteira de medição é o limite físico definido pela localização dos equipamentos de medição de fluxo energético, nos circuitos energéticos (redes eléctricas, gás, calor). A fronteira pode ser delimitada por medidores dos fluxos energéticos de entrada e fluxos energéticos de saída. Os fluxos energéticos de perdas e de energia consumida podem ser calculados pela diferença entre os fluxos de entrada e saída. Na maior parte dos casos a fronteira de medição corresponde a um circuito terminal em que apenas são medidos os fluxos de entrada, tal como apresentado na figura 3.1:

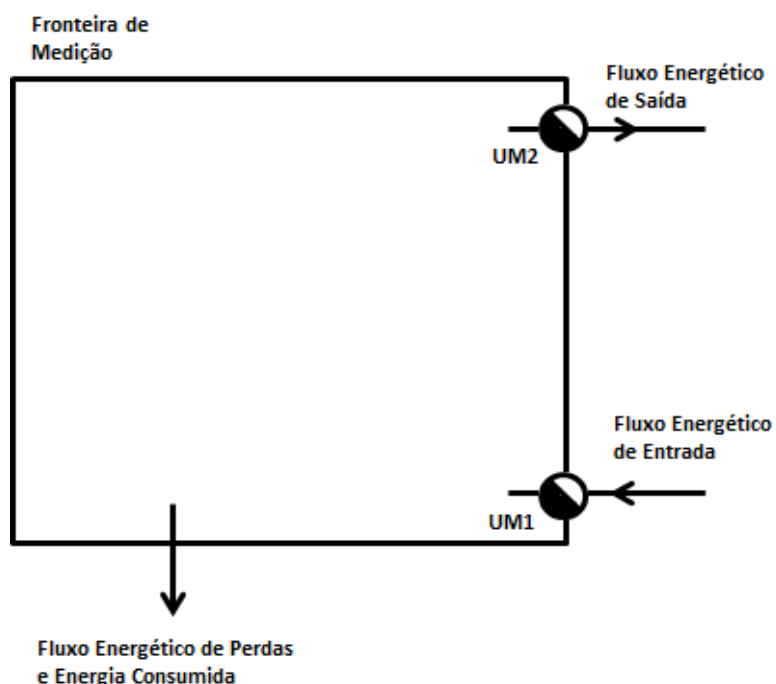


Figura 3.1 – Fronteira de medição

A fronteira de medição também poderá ser um equipamento. Por exemplo, uma caldeira para a qual é medido o fluxo de gás. Nestes casos o equipamento converte um fluxo energético de entrada noutro fluxo energético de tipo diferente (ex.: gás na entrada e calor à saída).

A fronteira de medição é sempre uma infra-estrutura com existência física. Esta infra-estrutura pode sofrer alteração ao longo do tempo, seja nos circuitos de fluxo energéticos ou seja na localização ou características das unidades de medição. Assim surge a necessidade de criar mecanismos de ajuste que mantenham a integridade do processo de medição nestas situações. Estes modelos de ajuste são definidos também no plano de medição. Em alguns casos a fronteira de medição não existe ou passa a não existir. Nestes casos o processo de medição passa a realizar-se com base em estimativas associadas a medidas ou estimativas associadas à fronteira de utilização, sendo esta um limite que já pode ser conceptual e não físico.

A fronteira de medição pode integrar sistemas energéticos globais, como sendo um edifício completo ou partes mais restritas do circuito de fluxo energético. Em alguns casos podemos ter várias fronteiras de medição ao longo de várias transformações energéticas, como é exemplificado na figura 3.2. Neste exemplo a fronteira de medição 1 é representada pelo próprio equipamento. A fronteira de medição 2 é delimitada por duas unidades de medição, a primeira medindo o fluxo de entrada e a segunda medindo o fluxo de saída.

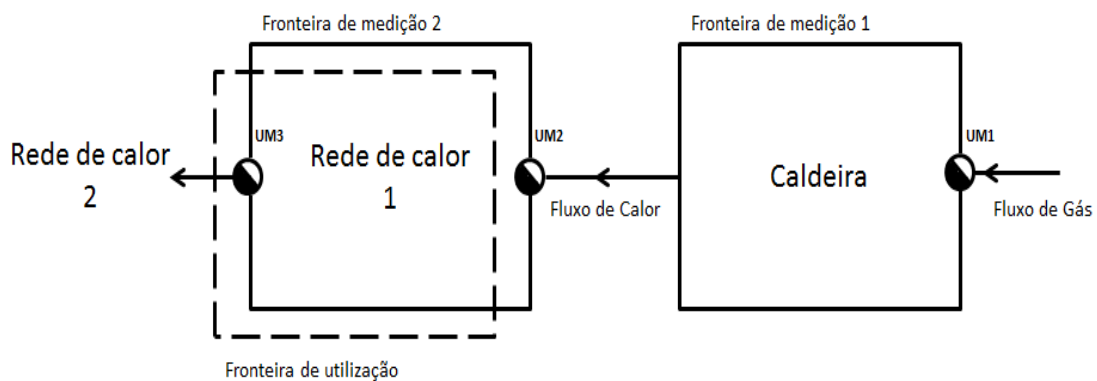


Figura 3.2 – Caldeira, medição do Fluxo de Gás

Como exemplo, a fronteira de medição 1 encontra-se delimitada pela unidade de medição 1 (UM1), sendo o fluxo energético de entrada o fluxo de gás e o fluxo energético de saída o fluxo de calor. A fronteira de medição 2 é delimitada pelas unidades de medição 2 (UM2) e 3 (UM3), onde o fluxo energético de entrada é o fluxo de calor proveniente da caldeira e que circula numa rede de calor 1, e o fluxo energético de saída será o fluxo de calor que irá circular numa rede de calor 2. É de notar que, na rede de calor 1, a fronteira de medição determinada pelas unidades de medição engloba apenas uma parte da fronteira de utilização. No exemplo isto é visível e traduz que todo o espaço de utilização não está a ser medido e poderá incorrer em situações como a insuficiência do fluxo de calor para aquecer uma determinada divisão da instalação.

Uma fronteira de medição pode englobar vários circuitos de fluxos energéticos de energias diferentes. Nestes casos são necessários modelos de conversão e agregação energética para integrar no processo de medição.

Um processo de medição aplicado a medidas específicas de eficiência energética, como por exemplo a troca de iluminação, requer fronteiras de medição mais detalhadas na delimitação, obrigando a que a fronteira de medição esteja mais próxima da fronteira de utilização. Obviamente que esta abordagem resulta em soluções de M&V mais caras.

As medidas de racionalização energética (MRE) são influenciadas pela delimitação da fronteira de medição, onde esta poderá abranger toda a fronteira de utilização ou apenas uma parte. Por isso são necessários processos de medição e verificação que avaliem se a relação entre a MRE e fronteira de medição é adequada, como demonstra a figura 3.3:

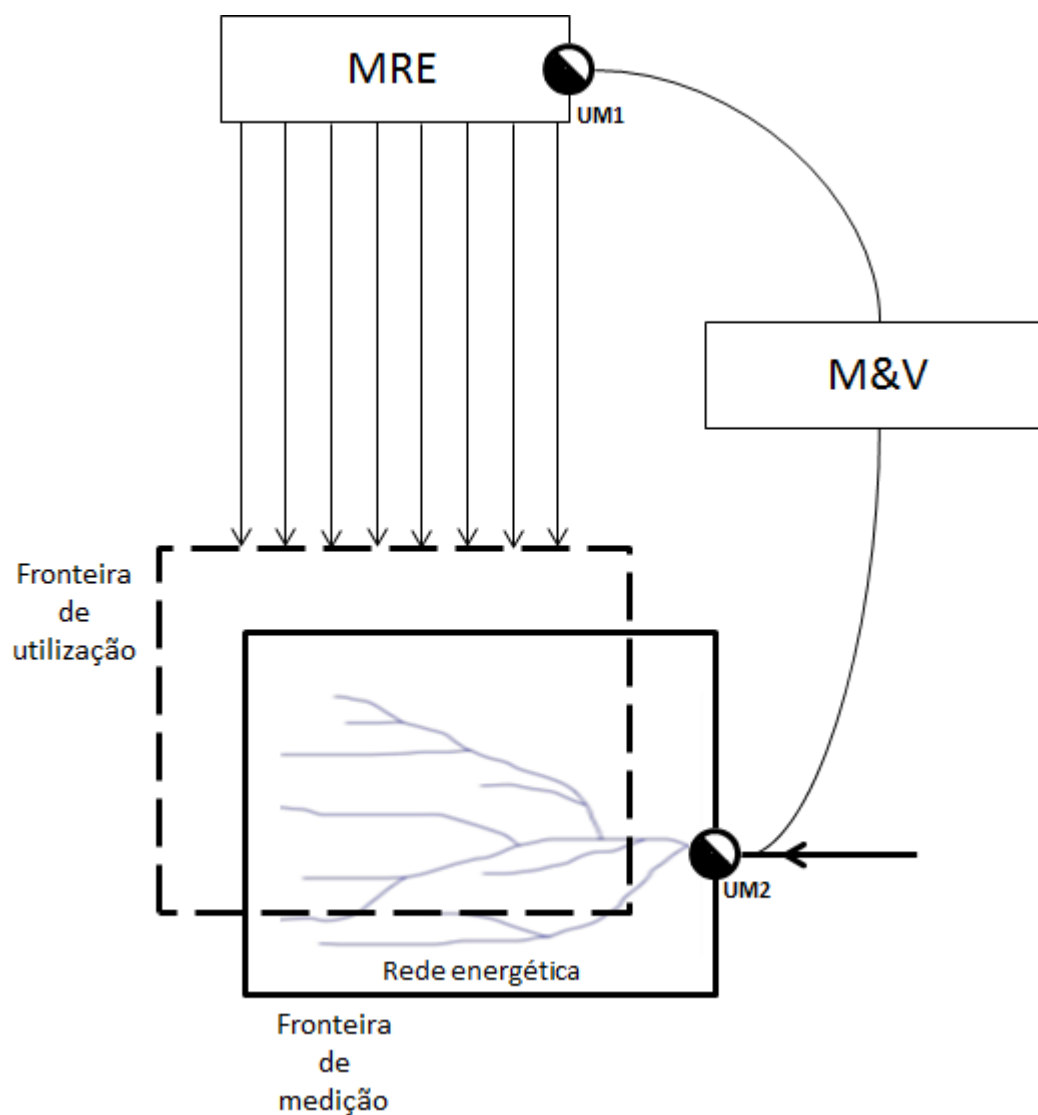


Figura 3.3 – Ação das medidas de racionalização de energia

A fronteira de medição é caracterizada por duas vertentes: a caracterização das unidades de medição das variáveis de fluxo e a caracterização dos circuitos de fluxo energético. As unidades de medição são caracterizadas individualmente, independentemente onde são aplicadas. Na definição dos circuitos de fluxo energético é integrada a localização das unidades de medição, ficando nesta fase, e nesta localização, definida a fronteira de utilização.

3.1.1.1. Caracterização das unidades de medição de variáveis de fluxo

As unidades de fluxo são definidas individualmente numa tabela onde são indicadas as principais características destas unidades, nomeadamente: características físicas, variáveis medidas, precisão do equipamento, etc. Um exemplo a seguir deste tipo de tabelas é apresentado nas tabelas de 3.1 a 3.5, com formatos diferentes dependendo do tipo de fluxo energético (electricidade, combustíveis gasosos, combustíveis líquidos, calor e água).

Os contadores eléctricos são equipamentos de medição contínua de corrente (A) e tensão (V), integrado de forma contínua a energia acumulada (kWh) e registados no dispositivo indicador. Poderão existir medidores que apenas medem a corrente e assumem um valor de tensão nominal (ex.: medição de pinças). Esta diferenciação deve ser indicada no campo “Tipo de medidor”.

Tabela 3.1 – Contadores eléctricos.

Equipamento contador				Tensão	Tipo de alimentação	Intensidade da corrente		Precisão de operação máxima
Identificação	(a)		Tipo de medidor	(b)	(c)	(d)		(e)
	Nº de série	Modelo		U_{nominal} (V)	Monofásica/ Trifásica	I_{nominal} (A)	$I_{\text{máximo}}$ (A)	(%)

- Atribuir uma identificação ao contador (ex.: *UM.CE1*, *UM.CE2*, *UM.CE3*, *UM.CE4*), indicar qual o número de série (ex.: *A1700*), o modelo (ex.: *ECOS-Janz*) e o tipo de medidor (ex.: *medidor de pinças*);
- Indicar a tensão nominal do contador eléctrico, em *Volt* (V);
- Indicar o tipo de alimentação do contador eléctrico (ex.: *trifásica*, *monofásica*);
- Indicar a intensidade corrente nominal e máxima, ambas em *Ampère* (A);
- Indicar a precisão *standard* do contador estabelecido pelo fabricante, deverá ser apresentado na forma de percentagem (%).

Os contadores de combustíveis gasosos são equipamentos de medição contínua de caudais (m^3/h), passando a ser integrado de forma contínua o volume acumulado (m^3) e registados no dispositivo indicador.

Tabela 3.2 – Contadores de combustíveis gasosos.

Equipamento contador	Posição de instalação	Caudais do dispositivo de medição			Precisão de operação máxima
(a)	(b)	(c)			(d)
Identificação	Tipo	Mín (m^3/h)	Máx (m^3/h)	Volume acumulado (m^3)	(%)

- Atribuir uma identificação ao contador (ex.: *UM.CG1, UM.CG2, UM.CG3, UM.CG4*);
- Indicar qual a posição de instalação adequada e estabelecida pelo fabricante do contador (ex.: *poderá ser instalado na horizontal ou na vertical*);
- Indicar os caudais mínimos e máximos de funcionamento do contador, apresentado em metros cúbicos por hora (m^3/h), e o volume de caudal acumulado, apresentado em metros cúbicos (m^3);
- Indicar a precisão *standard* do contador estabelecido pelo fabricante, deverá ser apresentado na forma de percentagem (%).

Os contadores de combustíveis líquidos são equipamentos de medição contínua de caudais (m^3/h), passando a ser integrado de forma contínua o volume acumulado (m^3) e registados no dispositivo indicador.

Tabela 3.3 – Contadores de combustíveis líquidos.

Equipamento contador	Posição de instalação	Caudais			Temperatura de trabalho	Precisão de operação máxima
(a)	(b)	(c)			(d)	(e)
Identificação	Tipo	Mín (m^3/h)	Máx (m^3/h)	Volume acumulado (m^3)	Máx (K)	(%)

- Atribuir uma identificação ao contador (ex.: *UM.CL1, UM.CL2, UM.CL3, UM.CL4*);

- b) Indicar qual a posição de instalação adequada e estabelecida pelo fabricante do contador (ex.: *deverá ser instalado na horizontal*);
- c) Indicar os caudais mínimos e máximos de funcionamento do contador, apresentado em metros cúbicos por hora (m^3/h), e o volume de caudal acumulado, apresentado em metros cúbicos (m^3);
- d) Indicar qual a temperatura máxima admissível do contador estabelecido pelo fabricante, deverá ser apresentada em *Kelvin* (K);
- e) Indicar a precisão *standard* do contador estabelecido pelo fabricante, deverá ser apresentado na forma de percentagem (%).

Os contadores de energia térmica são equipamentos de medição contínua de caudais (m^3/h), passando a ser integrado de forma contínua o volume acumulado (m^3) e registados no dispositivo indicador.

Tabela 3.4 – Contadores de energia térmica.

Equipamento contador	Posição de instalação	Caudais			Temperatura de trabalho	Precisão de operação máxima
(a)	(b)	(c)			(d)	(e)
Identificação	Tipo	Mín (m^3/h)	Máx (m^3/h)	Volume acumulado (m^3)	Máx (K)	(%)

- a) Atribuir uma identificação ao contador (ex.: *UM.CET1, UM.CET2, UM.CET3, UM.CET4*);
- b) Indicar qual a posição de instalação adequada e estabelecida pelo fabricante do contador (ex.: *poderá ser instalado na horizontal ou na vertical*);
- c) Indicar os caudais mínimos e máximos de funcionamento do contador, apresentado em metros cúbicos por hora (m^3/h), e o volume de caudal acumulado, apresentado em metros cúbicos (m^3);
- d) Indicar qual a temperatura máxima admissível do contador estabelecido pelo fabricante, deverá ser apresentada em *Kelvin* (K);
- e) Indicar a precisão *standard* do contador estabelecido pelo fabricante, deverá ser apresentado na forma de percentagem (%).

Os contadores de água são equipamentos de medição contínua de caudais (m^3/h), passando a ser integrado de forma contínua o volume acumulado (m^3) e registados no dispositivo indicador.

Tabela 3.5 – Contadores de água.

Equipamento contador	Posição de instalação	Temperaturas de funcionamento		Caudais			Precisão de operação máxima
		Mín	Máx	Mín	Máx	Volume acumulado	
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Identificação	Tipo	Mín (K)	Máx (K)	Mín (m^3/h)	Máx (m^3/h)	Volume acumulado (m^3)	(%)

- Atribuir uma identificação ao contador (ex.: *UM.CA1, UM.CA2, UM.CA3, UM.CA4*);
- Indicar qual a posição de instalação do contador de água (ex.: *poderá ser instalado na horizontal ou na vertical*);
- Indicar a temperatura mínima e máxima de funcionamento do contador, deve ser apresentado em *Kelvin* (ex.: *Mín: 273,15K; Máx: 303,15K*);
- Indicar os caudais mínimos e máximos de funcionamento do contador, apresentado em metros cúbicos por hora (m^3/h), e o volume de caudal acumulado, apresentado em metros cúbicos (m^3);
- Indicar a precisão *standard* do contador estabelecido pelo fabricante, deverá ser apresentado na forma de percentagem (%).

3.1.1.2. Caracterização dos circuitos de fluxo energético

Os circuitos de fluxo energético são os suportes para as unidades de medição de fluxo, sendo o objectivo destas últimas a medição dos fluxos energéticos nestes circuitos. Um circuito de fluxo energético é definido independentemente e previamente à localização das unidades de medição. Os circuitos de fluxo são definidos em tabela, com a identificação, caracterização, e definidos esquematicamente. Os esquemas de princípio destes circuitos têm representações diferentes dependendo da especialidade e do detalhe pretendido. A tabela 3.6 apresenta um exemplo de descrição tabular dos vários circuitos apresentados como exemplo nos esquemas das figuras 3.4 e 3.5. A localização das unidades de medição deve apresentar-se sobre os esquemas de princípio dos circuitos de fluxo energético. Os identificadores apresentados nestes esquemas deve estar coerente com as tabelas de caracterização das unidades de medição.

Tabela 3.6 – Caracterização de redes de fluxo energético.

Circuitos de fluxo energético (a)			Unidades de medição de fluxo (b)	
Identificação	Tipo de circuito	Localização	Número de unidades	Medidas totais
CFE1	Calor	Piso 0	4	1219K
CFE2	Eléctrico	Piso 0	4	1,1kV

- a) Atribuir uma identificação ao circuito de fluxo energético (ex.: *CFE1*, *CFE2*, *CFE3*, *CFE4*, etc.), o tipo de circuito que será analisado (ex.: *energia eléctrica*, *energia térmica*, *gás*, *água*, etc.) e a localização do circuito de fluxo energético na instalação (ex.: *Piso 0*, *Piso 1*, etc.);
- b) Indicar qual o número de unidades de medição de fluxo utilizadas no circuito (ex.: 1, 2, 3, etc.) e a quantificação total da grandeza medida com as respectivas unidades (ex.: *Tensão = 1kV*, *Temperatura = 312K*, *Volume de caudal acumulado = 50m³*, etc.).

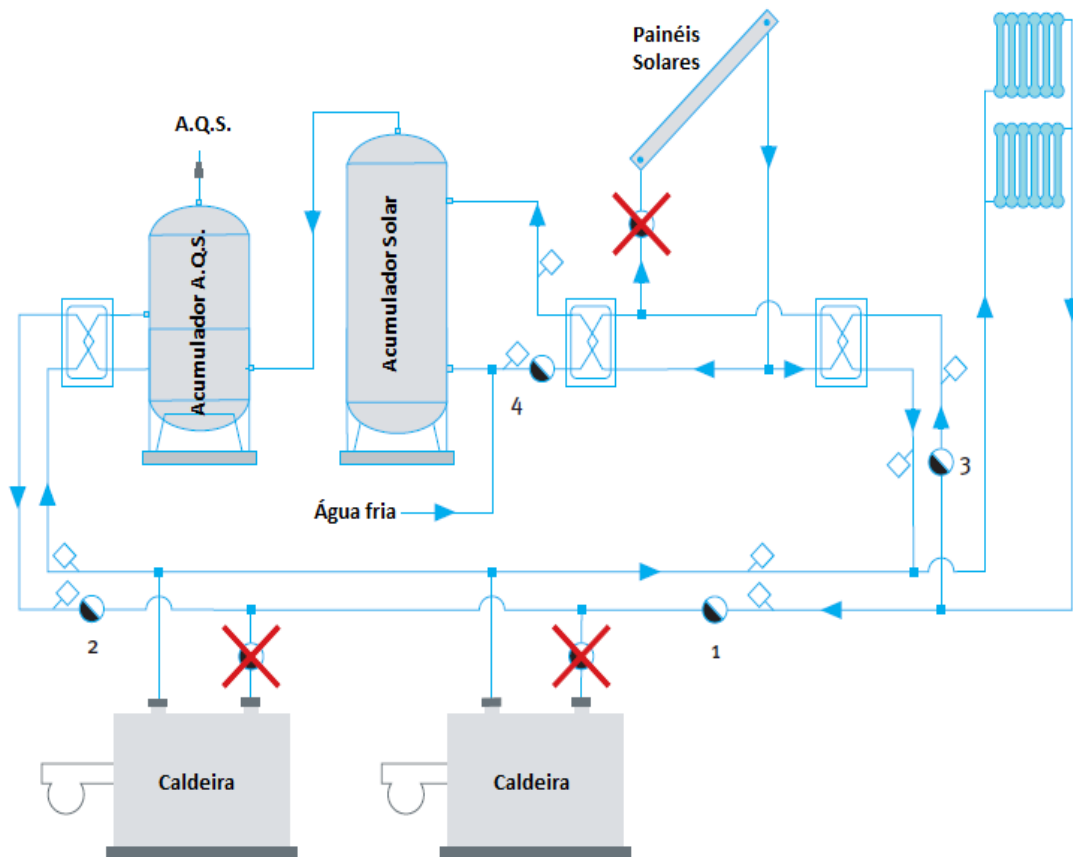


Figura 3.4 – Localização das unidades de medição de energia térmica numa rede de calor [19].

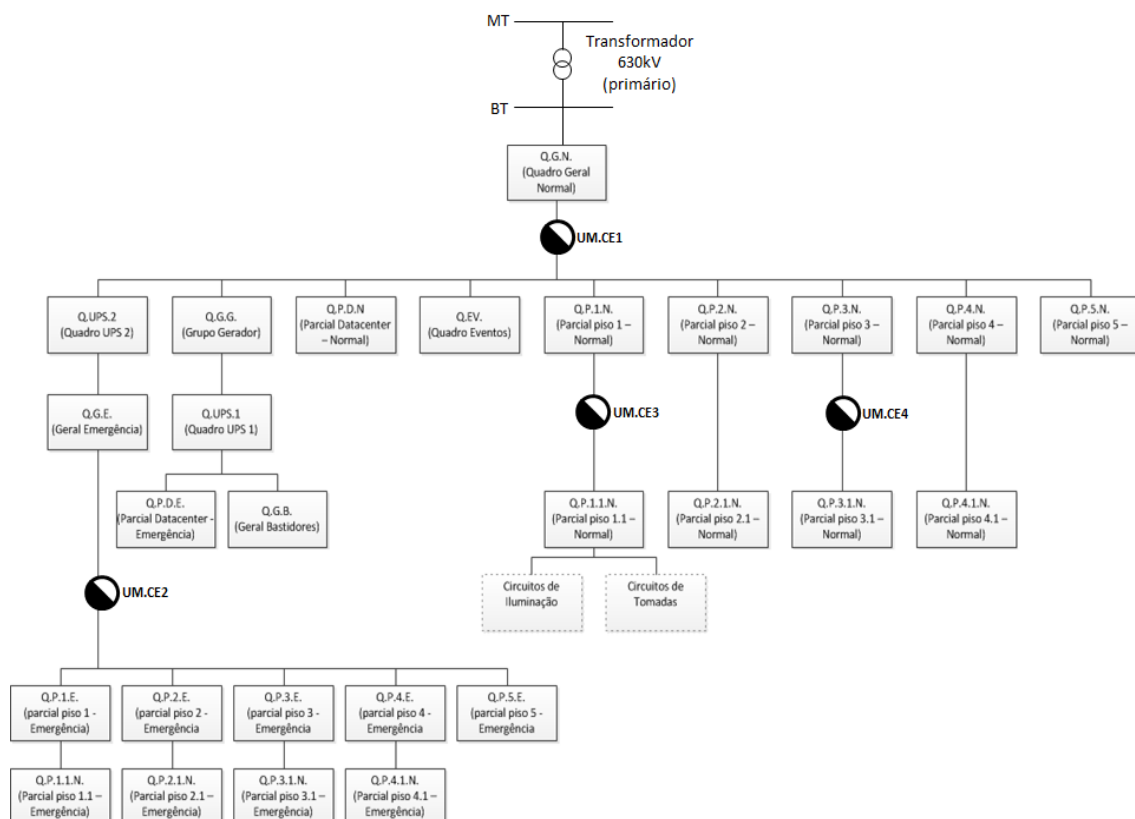


Figura 3.5 – Localização das unidades de medição no organograma de quadros eléctricos.

O exemplo do esquema de princípio apresentado na figura 3.5 permite perceber como é possível efectuar a desagregação dos consumos eléctricos e delimitar as fronteiras de medição utilizando as unidades de medição.

Como se pode verificar na figura existem quatro unidades de medição que delimitam os quadros eléctricos da instalação por espaços, permitindo estabelecer assim as fronteiras de medição:

- Se consideramos apenas a medição realizada pela UM.CE1 então todos os consumos obtidos serão a jusante dessa mesma unidade de medição, que serão todos os quadros de cada piso;
- Se consideramos apenas a medição realizada pela UM.CE2 então todos os consumos obtidos serão a jusante dessa mesma unidade de medição, que serão todos os quadros parciais de emergência;
- Se consideramos apenas a medição realizada pela UM.CE3 então todos os consumos obtidos serão a jusante dessa mesma unidade de medição (Q.P.1.1.N), que neste caso engloba as fronteiras de utilização dos circuitos de iluminação e de tomadas;
- Se consideramos apenas a medição realizada pela UM.CE4 então todos os consumos obtidos serão a jusante dessa mesma unidade de medição (Q.P.3.1.N)

Podemos ainda ter situações onde a fronteira de medição é delimitada por mais do que uma unidade de medição:

- e) No caso onde a fronteira de medição é delimitada por UM.CE1 e UM.CE2, a medição de consumos consiste em todos os pisos com excepção dos quadros parciais de emergência;
- f) No caso onde a fronteira de medição é delimitada por UM.CE1 e UM.CE3, a medição de consumos consiste em todos os pisos com excepção do Q.P.1.1.N;
- g) No caso onde a fronteira de medição é delimitada por UM.CE1 e UM.CE4, a medição de consumos consiste em todos os pisos com excepção do Q.P.3.1.N;
- h) No caso onde a fronteira de medição é delimitada por UM.CE1, UM.CE2 e UM.CE3, a medição de consumos consiste em todos os pisos com excepção dos quadros parciais de emergência e Q.P.1.1.N;
- i) No caso onde a fronteira de medição é delimitada por UM.CE1, UM.CE2, UM.CE3 e UM.CE4, a medição de consumos consiste em todos os pisos com excepção dos quadros parciais de emergência, Q.P.1.1.N e Q.P.3.1.N.

3.1.1.3. Caracterização da fronteira de medição

A fronteira de medição propriamente dita é constituída por unidades de medição e por circuitos de fluxo. Ambos os componentes foram descritos anteriormente. A definição da fronteira de medição é realizada através de uma tabela em que se indica o identificador da fronteira, a delimitação da fronteira através das unidades de medição de fluxo de entrada e de fluxo de saída e o circuito de fluxo energético. Esta tabela é construída com os identificadores, de unidades de fluxo e de circuitos de fluxo, nas tabelas correspondentes.

Tabela 3.7 – Características da fronteira de medição.

Fronteira de medição (a) Identificação	Unidades de medição		Circuito de fluxo energético (c) Identificação
	De fluxo de entrada	De fluxo de saída	

- a) Atribuir uma identificação à fronteira de medição, deverá ser apresentado por um código (ex.: *FM1, FM2, FM3, FM4, etc.*);
- b) Indicar quais as unidades de medição de fluxo de entrada e de fluxo de saída que delimitam a fronteira de medição (ex.: *Fluxo de entrada: UM.CE1; Fluxo de saída: UM.CE2*), poderá ainda apenas existir uma única unidade de medição que delimite de forma a jusante todo o espaço (ex.: *Fluxo de entrada: UM.CE1; Fluxo de saída: N.D.*);
- c) Indicar qual a identificação atribuída na tabela 3.6 para o circuito de fluxo energético no interior da fronteira de medição (ex.: *CFE1, CFE2, CFE3, CFE4, etc.*).

A fronteira de medição deve ser representada pelas unidades de medição, que isolam o circuito de fluxo energético.

3.1.2. Definição da fronteira de utilização

A fronteira de utilização delimita os espaços de utilização ou transformação da energia. Ao contrário da fronteira de medição, a fronteira de utilização poderá não corresponder a um limite com existência física, é o caso de espaços ainda em projecto ou conceitos de utilização não delimitáveis (ex.: iluminação exterior). As fronteiras de utilização podem conter unidades de medição de estado (ex.: ocupação, temperatura, luminosidade, conforto, produção, etc.). Estas unidades devem ser identificadas, localizadas e caracterizadas, através de tabelas e plantas de localização. Em casos de espaços de transformação de energias caracterizados por um determinado equipamento (ex.: caldeira) a fronteira de utilização será esse mesmo equipamento.

É essencial que a fronteira de utilização defina e caracterize os equipamentos e utilizações energéticas. Esta caracterização é realizada em tabelas onde são definidos e quantificados os equipamentos de consumo, bem como os comportamentos e perfis de consumo associados aos utilizadores ou automatismos de sistemas.

A fronteira de utilização deverá, tanto quanto possível coincidir com a fronteira de medição. Em alguns casos é a fronteira de utilização que define a fronteira de medição (ex.: espaço aquecido) e em outros casos é o contrário (ex.: consumo eléctrico de um edifício utilizando o contador de energia principal). Esta coincidência nem sempre acontece e nestes casos é necessário proceder a ajustes entre as medições na fronteira de medição e os valores consumidos nas fronteiras de utilização.

3.1.2.1. Correspondência entre a fronteira de utilização e a fronteira de medição

A uma fronteira de utilização corresponde uma fronteira de medição e um espaço físico. O pretendido na caracterização entre a fronteira de utilização e a de medição é que ambas coincidam ou se sobreponham sempre que possível.

Estas correspondências são representadas numa tabela semelhante à tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Características entre fronteira de utilização e fronteira de medição.

Fronteira de utilização	Fronteira de medição	Zona	
		Designação	Área total (m ²)
(a)	(b)	(c)	
Identificação	Identificação		

- a) Atribuir uma identificação à fronteira de utilização, deverá ser apresentado por um código (ex.: *FU1, FU2, FU3, FU4*);
- b) Atribuir uma identificação à fronteira de medição, deverá ser apresentado por um código que faça correspondência à tabela 3.7 (ex.: *FM1, FM2, FM3, FM4*);
- c) Indicar qual a designação do espaço que compreende a fronteira de utilização e medição (ex.: *zona 1 - gabinete H022*) e a sua área total em metros quadrados que poderá representar várias zonas dentro de uma zona (ex.: $25 m^2$).

3.1.2.2. Caracterização de sistemas de consumo

Dentro da fronteira de utilização será necessário caracterizar os equipamentos de consumo. A quantificação, características dos equipamentos e a correspondência com a fronteira de utilização é apresentada numa tabela semelhante à tabela 3.9. Esta tabela poderá sofrer alteração ao longo do projecto. Estas alterações devem ser identificadas na forma tabelar requerendo um correspondente procedimento de ajuste (ver secção 3.4.4.1).

Tabela 3.9 – Características dos constituintes de cada fronteira de utilização.

Fronteira de utilização	Equipamentos de consumo		Utilização	Potência nominal
(a)	(b)		(c)	(d)
Identificação	Tipo de equipamentos	Número de unidades	Perfil tempo de utilização (% de horas)	P_n (W)

- a) Identificação de cada fronteira de utilização, deverá ser apresentado pelo código já definido na tabela 3.8 (ex.: *FU1, FU2, FU3, FU4*);
- b) Indicar quais os equipamentos constituintes da fronteira de utilização (ex.: *computadores, lâmpadas fluorescentes com balastros ferromagnéticos, etc.*) e o respectivo número de unidades;
- c) Indicar qual o perfil de tempo de utilização diário (número de horas de funcionamento da instalação - normalmente é considerado por um dia de trabalho de igual a 8h) dos equipamentos de consumo existentes na fronteira de utilização (ex.: *43% de tempo de utilização diário do equipamento, etc.*);
- d) Indicar qual a potência nominal das unidades de equipamentos (ex.: *Potência dos equipamentos × Número de unidades*), deverá ser apresentado em Watt (W).

3.1.2.3. Caracterização das unidades de medição de variáveis de estado

Dentro da fronteira de utilização poderão existir unidades de medição de estado (ex.: temperatura, medições de QAI, qualidade de electricidade, etc.). As características dos

equipamentos e a correspondência com a fronteira de utilização são apresentadas numa tabela semelhante à tabela 3.10.

Tabela 3.10 – Características das unidades de medição das variáveis de estado

Equipamento de medição (a)		Variável de estado (b)	Zona (c)
Identificação	Modelo	Identificação	Designação

- a) Atribuir uma identificação às unidades de medição de estado (ex.: *UM.E1*, *UM.E2*, *UM.E3*, *UM.E4*) e indicar o modelo do equipamento (ex.: *EME-1*), caso não seja identificável apresentar por N.D. (não disponível);
- b) Identificar qual a variável de estado medida (ex.: *temperatura*, *luminosidade*, *número de presenças*, etc.);
- c) Indicar qual a zona (preencher com o mesmo campo “Zona” da tabela 3.8) onde serão feitas as medições das variáveis de estado (ex.: *zona 1 - gabinete H022*).

A apresentação de plantas com a localização das unidades de medição de variáveis de estado também é essencial. Em seguida é demonstrado um exemplo pela figura 3.6:

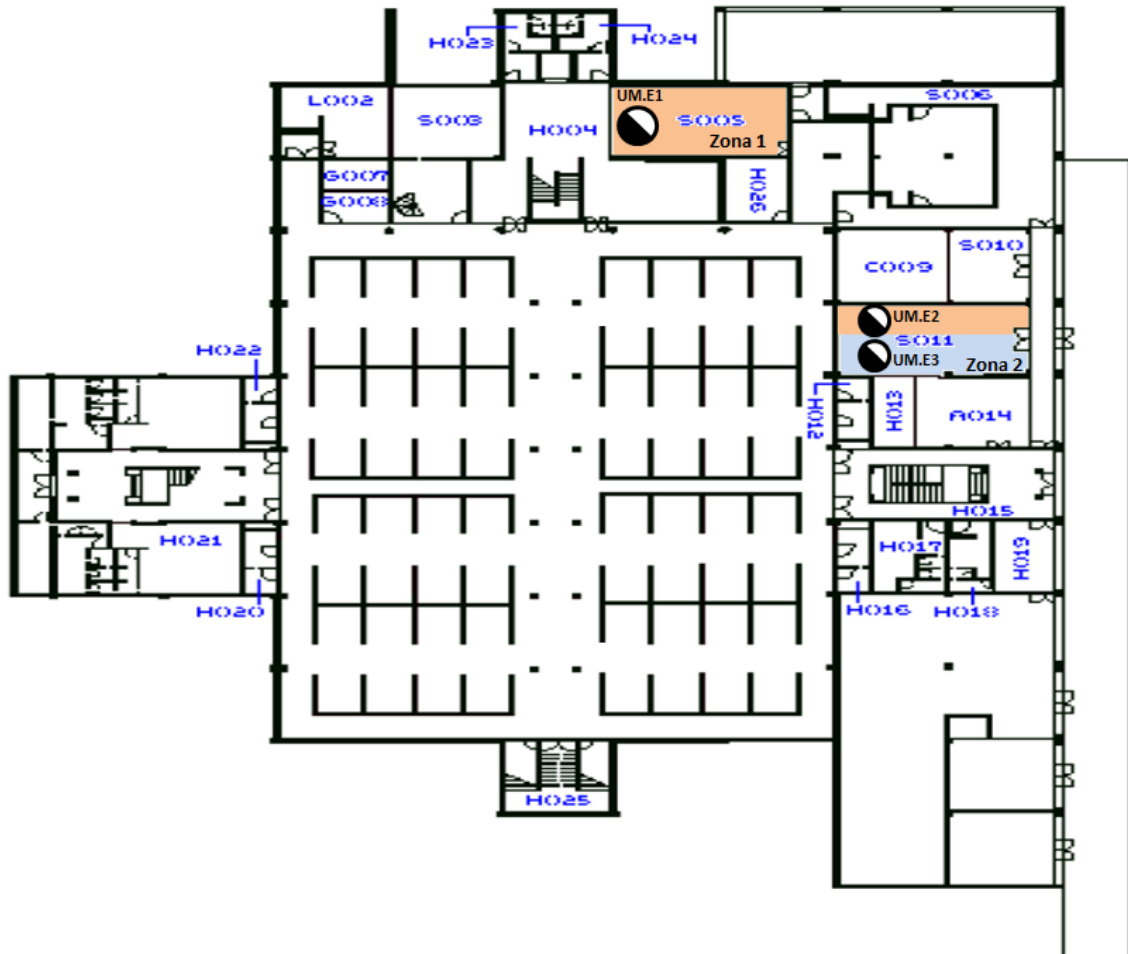


Figura 3.6 – Planta com localização das unidades de estado por zonas.

Neste exemplo podemos verificar que as unidades de medição de estado afectam zonas independentes ou zonas comuns:

- No caso da UM.E1 (fronteira de medição) o equipamento irá realizar medições relativamente à zona 1 - gabinete S005 (fronteira de utilização), que irá recolher um conjunto de dados quanto ao circuito de iluminação;
- No caso da UM.E2 e UM.E3 (fronteira de medição) os equipamentos irão realizar medições do circuito de iluminação e do circuito de tomadas respectivamente em apenas uma única zona, zona 2 - gabinete S011 (fronteira de utilização).

3.1.2.4. Caracterização dos utilizadores da zona

Para melhor definir os comportamentos de utilização e as alterações a estes equipamentos, será necessário quantificar e caracterizar os utilizadores da instalação. A caracterização da utilização faz-se com base numa tabela semelhante à tabela 3.11.

Tabela 3.11 – Caracterização dos utilizadores.

Utilizadores (a)	Espaços de utilização frequentes (b)	Horário de utilização (c)	Comentários (d)

- Os utilizadores devem ser identificados pelas suas funções desempenhadas na instalação (ex.: *docentes, estudantes, manutenção, seguranças, técnicos, etc.*);
- Identificar para cada utilizador quais os espaços mais frequentados pelos mesmos (ex.: *salas de aula, salas de reuniões, gabinetes, espaços comuns, todas as áreas da instalação, etc.*);
- Caracterizar um padrão temporal de utilização dos utilizadores na instalação (ex.: *9h às 21h, quando necessário, serviço prestado por segurança, 24h por dia, etc.*);
- Adicionar, caso necessário, algum comentário respeitante aos utilizadores.

3.2. Caracterização das variáveis

Será necessário definir quais as variáveis de fluxo ou variáveis de estado que estão a ser medidas. É necessário ter em conta a sincronização da medição, tanto em valores instantâneos de medição como em valores integrados de medição. As medições das variáveis podem ser contínuas ou periódicas. Estas medições poderão ser combinadas em modelos matemáticos para obter parâmetros ou indicadores. Os parâmetros são valores constantes válidos para um determinado período. Os indicadores são valores variáveis função de variáveis medidas. As variáveis, parâmetros e indicadores representarão, directa ou indirectamente, as medições de consumos, poupanças e desempenho. As variáveis medidas estão associadas a unidades de medição e identificadas na tabela 3.12.

Tabela 3.12 – Caracterização das variáveis.

Tipo de variáveis (a)		Grandeza medida (b)	Unidade de medição (c)	Periodicidade (d)	Medição (e)	Modelo (f)
Identificação	Tipo			Tipo de medição	Período	Identificação

- a) Atribuir uma identificação às variáveis (ex.: $V1$, $V2$, $V3$, $V4$) e indicar qual o seu tipo (ex.: *Fluxo ou Estado*);
- b) Indicar a grandeza que está a ser medida (ex.: *tensão (V)*, *corrente (A)*, *temperatura ($^{\circ}C$)*, *luminosidade (lux)*, etc.);
- c) Indicar qual a identificação da unidade de medição previamente definidas, tabelas: 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ou 3.10;
- d) Indicar qual a periodicidade com que a medição é realizada (ex.: *continua*, *em intervalos de 15 minutos*, etc.);
- e) Indicar qual o período em que é realizada a medição. Poderá ser apresentado com o formato de uma data (ex.: *dd/mm/aa a dd/mm/aa*), caso seja uma medição de periodicidade contínua, ou num intervalo (ex.: *15 em 15 minutos*, *2 em 2 horas*, etc.);
- f) Identificar o modelo utilizado na obtenção da variável (ex.: *conversões energéticas*, *agregações de consumo*, *referência*, *ajustes*, etc.), caso não seja necessário apresentar por N.D. (não disponível).

3.2.1. Variáveis de fluxo

As variáveis de fluxo são variáveis medidas ou estimadas correspondendo a fluxos de energias nos circuitos de fluxo energético. Com a finalidade descritiva apresenta-se de seguida um conjunto de exemplos de variáveis de fluxo, como: consumo de energia eléctrica, consumo de combustíveis, produção eléctrica, produção de água quente, produção de vapor e produção de outras formas de calor. Não será necessário definir estas descrições no Plano M&V.

3.2.1.1. Consumo de energia eléctrica

Energia eléctrica para consumo geral

E_e - Energia eléctrica total consumida pelos equipamentos electrónicos presentes numa instalação. Deverá ser medida através de contadores eléctricos, durante um ano, em kWh.

$$E_e = \sum_{i=1}^n \text{Energia}_{\text{contador eléctrico } i} \quad (3.1)$$

Energia eléctrica consumida para o aquecimento

E_{ea} - Energia eléctrica consumida para o aquecimento, deverá ser instalado pelo menos um contador eléctrico que permita obter medições dos sistemas (aquecimento, refrigeração e produção de AQS) e outros contadores eléctricos para sistemas auxiliares, é uma medição realizada durante um ano, em kWh. Esta energia é calculada em função da seguinte equação:

$$E_{ea} = \frac{E_{el} \cdot E_{ua}}{E_u} \quad (3.2)$$

Em que:

- E_{el} – Energia eléctrica total consumida nos sistemas (aquecimento, refrigeração e produção de AQS), medida com contador eléctrico, durante um ano, em kWh;
- E_{ua} – Energia térmica útil medida pelos contadores ou soma de contadores de energia térmica no sistema de produção de calor, durante um ano, em kWh;
- E_u – Energia térmica útil fornecida à instalação, medida pelo somatório das leituras de contadores de energia térmica (i) num dado ano (j) subtraído ao somatório das leituras dos mesmos contadores de energia térmica (i) do ano anterior ($j - 1$), em kWh. Calculada pela seguinte equação:

$$E_u = \sum_{j=1}^n \text{Energia}_{\text{Contador térmico } i,j} - \sum_{j=1}^n \text{Energia}_{\text{Contador térmico } i,j-1} \quad (3.3)$$

3.2.1.2. Consumo de combustíveis

Energia consumida de combustível

$E_{\text{combustível}}$ - Energia nominal consumida de combustível (líquido, gasoso ou sólido), no sistema de produção térmica, com base no PCI (poder calorífico inferior), deverá ser medida com contadores de combustível (líquido, gasoso ou sólido), durante um ano, em kWh. Esta energia é calculada tendo em conta alguns parâmetros importantes apresentados na seguinte equação:

$$E_{\text{combustível}} = V_{co} \cdot PCI \quad (3.4)$$

Em que:

- V_{co} – Volume de combustível (líquido, gasoso ou sólido) consumido, durante um ano, medido pelos contadores em m^3 , L (litros), etc.;
- PCI – Poder calorífico inferior do combustível (líquido, gasoso ou sólido) utilizado, em kWh/ m^3 , kWh/L, kWh/kg, kcal/kg, etc. (ver Anexo A).

3.2.1.3. Produção eléctrica

P_{el} - Somatório de energias produzidas pelos dos vários sistemas de geração de energia (i) existentes na instalação. Esta energia será de uso geral por todos os equipamentos eléctricos, durante um ano, em kWh, Calculada pela seguinte equação:

$$P_{el} = \sum_{i=1}^n \text{Energia}_{\text{produzida } i} \quad (3.5)$$

3.2.1.4. Produção de água quente

P_{aq} - Relação existente entre a energia de combustível consumida para o sistema de produção de águas quentes de uma instalação e o volume de água consumido no mesmo sistema, durante um ano, em kWh/ m^3 . Com a seguinte equação:

$$P_{aq} = \frac{E_{ca}}{V_a} \quad (3.6)$$

Em que:

- E_{ca} – Energia de combustível consumida no sistema de produção de água quente, com base no PCI (ver Anexo A), durante um ano, em kWh;
- V_a – Volume de água consumida no sistema de produção de água quente, em m³.

3.2.1.5. Produção de vapor

P_v - Relação existente entre a energia de combustível consumida para o sistema de produção de vapor numa instalação e o volume de água consumido no mesmo sistema, durante um ano, em kWh/m³. Com a seguinte equação:

$$P_v = \frac{E_{cv}}{V_a} \quad (3.7)$$

Em que:

- E_{cv} – Energia de combustível consumida para a produção de vapor, com base no PCI (ver Anexo A), durante um ano, em kWh;
- V_a – Volume de água consumida no sistema de produção de vapor, em m³.

3.2.1.6. Produção de outras formas de calor

Uma outra forma de produção de calor poderá ser através energia solar (painéis fotovoltaicos).

E_{sd} - Eficiência solar diária é a relação entre a energia térmica útil produzida através de energia solar e a superfície de captação útil dos painéis instalados, durante um determinado número de dias, em kWh/m². Esta energia é calculada através da seguinte equação:

$$E_{sd} = \frac{E_{es}}{S_s \cdot d} \quad (3.8)$$

Em que:

- E_{es} – Energia útil produzida através de energia solar numa instalação, medida pelo contador ou soma de contadores de energia térmica dos sistemas de energia solar para o aquecimento, refrigeração e produção de AQS, em kWh;
- S_s – Superfície de captação útil dos painéis solares, em m²;
- d – Número de dias onde decorridos e medidos pelos contadores de energia térmica.

3.2.2. Variáveis de estado

As variáveis de estado são variáveis medidas ou estimadas correspondendo ao estado dentro do espaço de utilização. Somente com finalidade descritiva apresenta-se de seguida um conjunto de exemplos de variáveis de estado. Não será necessário definir estas descrições no Plano M&V.

3.2.2.1. Emissões de CO₂

Qualidade do ar interior

A concentração de CO₂ no ar interior de uma instalação pode, sob determinadas circunstâncias, dar uma boa indicação da taxa de ventilação. É gerado no interior principalmente através do metabolismo humano e pelos sistemas que necessitam de consumo de energia de combustíveis para o aquecimento, refrigeração ou produção de AQS.

Embora a principal função do sistema AVAC seja a obtenção de conforto térmico, este deve introduzir ar exterior de modo a diluir os poluentes e odores gerados no local de trabalho.

As concentrações CO₂ nos espaços interiores variam de acordo com o local, ocorrência, hora do dia, tendendo em aumentar ao longo do dia. Os níveis de dióxido de carbono devem ser usados com precaução como indicadores de QAI aceitável. No entanto pode haver uma maior fonte de contaminação interior, mesmo com os níveis de concentração baixos de dióxido de carbono. A comparação de uma concentração elevada (pico de leitura de dióxido de carbono) entre salas e outras zonas pode ajudar a identificar e diagnosticar várias deficiências na ventilação.

É boa prática de funcionamento dos sistemas AVAC, que as concentrações de dióxido de carbono nos espaços interiores, no início da manhã, estejam próximos do exterior. Embora a determinação do volume de ar exterior a fornecer à instalação possa estar para além das capacidades do pessoal de manutenção da instalação, a não ser que a taxa de ventilação da entrada de ar seja conhecida, a proporção de ar exterior pode ser estimada a partir de medições das temperaturas exteriores, do ar de retorno, e do ar misturado. A percentagem de ar exterior pode ser calculada com a seguinte equação:

$$Ar\ exterior(\%) = \frac{T_{Ar\ misturado} - T_{Ar\ retorno}}{T_{Ar\ exterior} - T_{Ar\ retorno}} \cdot 100 \quad (3.9)$$

A exactidão do cálculo é proporcional às diferenças de temperatura. Alternativamente, a percentagem de ar exterior pode ser calculada da mesma maneira usando as medições de dióxido de carbono.

O equipamento ideal para a medição da qualidade do ar interior é o analisador por infravermelhos, contem 2 células, uma onde circula a amostra de ar e outra de referência, um detector e uma fonte de banda larga do espectro de radiação por infravermelhos. Os analisadores de leitura directa, respondem rapidamente e podem ser movidos de um local para outro para uma medição imediata do dióxido de carbono. Deve-se calibrar apropriadamente a concentração do zero e a concentração máxima pretendida, de forma a estabelecer a gama de linearidade. As vantagens dos analisadores por infravermelhos são a sensibilidade e a capacidade de monitorização instantânea e em contínuo. Estes instrumentos podem ser portáteis ou adequados para realizarem medições em contínuo de longa duração, sendo estes últimos mais robustos sendo dedicados para funcionarem como estações fixas.

3.2.2.2. Climatológicas

Temperatura e humidade relativa

A temperatura e a humidade relativa são dois dos vários parâmetros que afectam o conforto térmico. A satisfação com o ambiente térmico pode também ser influenciada por factores como, temperatura devida à radiação, velocidade do ar, nível de actividade do ocupante e o vestuário.

A humidade relativa inferior a 25% está associada ao aumento do desconforto e a secagem das membranas mucosas e pele, que podem levar a formação de gretas e irritação. Valores de humidade relativa baixos também aumentam a electricidade estática, que causa desconforto e pode dificultar o uso de computadores e outros equipamentos. Níveis de humidade relativa elevados podem resultar na condensação nas superfícies interiores do edifício e exteriores e a subsequente desenvolvimento de fungos.

Existem vários métodos para a medição da temperatura e humidade relativa, desde o simples termómetro para a temperatura e o termómetro de bolbo seco e húmido (psicrómetro) para a humidade, a instrumentos electrónicos sofisticados equipados com sensores de estado sólido. Durante as medições da temperatura e humidade relativa, evitar os locais de amostragem perto de maquinaria ou aquecidos directamente pelo sol ou por outras fontes de radiação [21].

3.2.2.3. Luminosidade

O pretendido na luminosidade é que os ambientes tenham o melhor conforto luminoso, a melhor qualidade e o menor custo possível. O primeiro nível para avaliarmos o que é o conforto luminoso refere-se à resposta fisiológica do utilizador. Um determinado ambiente provido de luz natural e/ou artificial, produz estímulos ambientais, ou seja, um certo resultado em termos de quantidade, contrastes, qualidade da luz e sua distribuição, etc. Mas quantidade de luz não é o único requisito necessário, a boa distribuição de luz no ambiente e a ausência de contrastes excessivos (como a incidência directa do sol no plano de trabalho e reflexos indesejáveis) também são factores essenciais.

Para a iluminação, tanto natural como artificial, a sua função é o primeiro e mais importante parâmetro para a definição de um projecto com o intuito em determinar o tipo de luz que o ambiente precisa. Assim, o primeiro objectivo da iluminação é a obtenção de boas condições de visão associadas à visibilidade, segurança e orientação dentro de um determinado ambiente. Este objectivo está intimamente associado às actividades laborais e produtivas (escritório, estabelecimentos de ensino, indústrias etc.). O segundo objectivo da iluminação é a utilização da luz como principal instrumento de ambientação do espaço. Este objectivo está intimamente associado às actividades não laborais e não produtivas (residências).

Podem ser considerados três tipos de iluminação: geral, localizada e de tarefa [22].

Iluminação geral

A iluminação geral consiste na distribuição aproximadamente regular das luminárias pelo tecto; iluminação horizontal de um certo nível médio; uniformidade.

- **Vantagens:** uma maior flexibilidade na disposição interna do ambiente - *layout*.
- **Desvantagens:** não atende às necessidades específicas de locais que requerem níveis de luminância mais elevados, grande consumo de energia, e em algumas situações muito específicas, podem desfavorecer o controlo de ofuscação pela visão directa da fonte.

Este sistema emprega-se mais concretamente em edifícios de escritórios, salas de aula, fábricas, etc [22].

Iluminação localizada

A iluminação localizada consiste em concentrar a luminária em locais de principal interesse, por exemplo, este tipo de iluminação é útil em áreas restritas de trabalho numa fábrica. As luminárias devem ser instaladas suficientemente altas para cobrir as superfícies adjacentes, possibilitando altos níveis de luminância sobre o plano de trabalho, ao mesmo tempo em que se assegura uma iluminação geral suficiente com o objectivo de eliminar fortes contrastes.

- **Vantagens:** maior economia energética e podem ser posicionadas de tal forma a evitar a ofuscação, sombras indesejáveis e reflexões.
- **Desvantagens:** em caso de mudança de *layout*, as luminárias devem ser reposicionadas, como por exemplo, nas actividades laborais é necessário uma complementação através do sistema geral de controlo de uniformidade de luz no próprio local [22].

Iluminação de tarefa

A iluminação de tarefa consiste em posicionar as luminárias perto da tarefa visual e do plano de trabalho.

- **Vantagens:** maior economia energética e controlo dos efeitos de iluminação.
- **Desvantagens:** deve ser complementada por outro tipo de iluminação e apresenta menor flexibilidade na alteração da disposição dos planos de trabalho [22].

3.2.2.4. Qualidade da electricidade

A qualidade da electricidade está relacionada com efeitos inesperados presentes na energia eléctrica. Estes efeitos podem ser: qualidade da onda de tensão, efeitos de *Flicker* e distorção harmónica.

Qualidade da onda de tensão

A qualidade da onda de tensão em condições normais deverá seguir algumas características como:

- Regras na Norma EN-50160, em MT e BT;
- Regras no Regulamento de Qualidade de Serviço (RQS) Portugal continental, em MAT e AT.

Por forma a verificar as condições enunciadas, deverão ser realizadas medições dos seguintes parâmetros de tensão:

- Frequência;
- Valor eficaz da tensão;
- Cavas de tensão;
- Regras na Norma EN-50160 para o efeito de *Flicker*;
- Desequilíbrio do sistema trifásico de tensões;
- Regras na Norma EN-50160 para a distorção harmónica [23].

Efeito de *Flicker*

O fenómeno designado por efeito de *Flicker* refere-se à percepção, pelo olho humano, das variações luminosas provocadas pela flutuação da tensão de alimentação. Estas variações restringem-se a uma gama de valores estrita entre os 0 a 30Hz. Ainda nesta gama, a sensibilidade não é uniforme, sendo máxima em torno de 8,8Hz, no caso da fonte luminosa ser uma lâmpada incandescente (no entanto também pode ser observada com lâmpadas fluorescentes).

Os equipamentos comuns que podem gerar efeitos de *Flicker* são por exemplo: aquecedores, ar-condicionados, impressoras, etc.

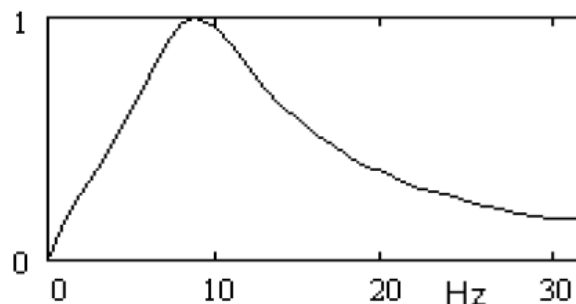


Figura 3.7 – Sensibilidade relativa do olho humano às variações luminosas de lâmpadas incandescentes [24].

As consequências (variações luminosas) provocadas pelo efeito de *Flicker* para um utilizador comum podem causar dificuldades na leitura, incómodo visual, dores de cabeça, cansaço visual, *stress*, perda de concentração, etc.

Já a nível eléctrico, o efeito de *Flicker* poderá danificar os equipamentos eléctricos de funcionamento mais ou menos regular, devido à flutuação do valor da tensão.

Existem dois indicadores que permitem avaliar o grau de severidade do efeito de *Flicker*:

- Pst - Flutuação de curta duração - período de integração de 10 minutos.
- Plt - Flutuação de longa duração - período de integração de 2 horas, este indicador é avaliado com recurso a 12 Pst seguidos [24].

Distorção harmónica

A distorção harmónica da tensão é a ocorrência de tensões de frequência múltipla da fundamental (até à ordem 40, uma vez que a amplitude da onda de tensão é mínima) na rede. Facto que origina deformação da forma de onda de tensão.

O indicador da distorção harmónica é a taxa de distorção harmónica (*THD*) e é medida num período de 95% de uma semana, em intervalos de 10 minutos.

Os valores de TDH:

- Em rede AT, a TDH deverá ser inferior a 5%;
- Em rede MAT, a TDH deverá ser inferior a 3%;

A equação que permite o cálculo percentual relativo à tensão fundamental é apresentada de seguida:

$$THD = \frac{100}{U_1} \sqrt{\sum_{h=2}^{40} U_h^2} \quad (3.10)$$

Em que:

- U_1 – Tensão registada na rede, em V ou kV;
- U_h – Tensão de frequência múltipla da fundamental, em V ou kV.

3.2.3. Variáveis de envolvente

As variáveis de envolvente caracterizam aspectos externos à instalação e às fronteiras de utilização e de medição. Estas variáveis devem ser identificadas no Plano M&V de forma que o processo tenha em conta alterações externas, incontroláveis, mas que influenciam as poupanças, exemplos destas variáveis são:

- Taxas e indicadores macro económicos, tais com taxa de juros, taxa de inflação;
- Preços de energia e tarifas energéticas;
- Impostos;
- Etc;

A caracterização destas variáveis deve ser discriminada no Plano M&V, através de uma tabela que indique a variável e o valor de referência para esta variável, e o modelo de ajuste a usar para as alterações desta variável.

Tabela 3.13 – Caracterização das variáveis de envolvente.

Variável	Valor de referência	Modelo de Ajuste
(a)	(b)	(c)
Identificação	Designação	Identificação

- a) Identificar a variável de envolvente utilizada (ex.: *preços de energia, taxas e indicadores macroeconómicos*);
- b) Designação utilizada como valor de referência para as variáveis envolventes;
- c) Identificar qual o modelo de ajustes adequado às eventuais alterações nas variáveis de envolvente (ver secção 3.4.4.2).

3.3. Caracterização dos indicadores

Descrever individualmente os modelos matemáticos simples para obtenção de parâmetros e indicadores. Estes modelos devem ser descritos com o detalhe necessário para que possam ser aplicados. Na secção do Plano M&V dedicada aos indicadores deverá ser descrito em detalhe os indicadores usados, o seu propósito e âmbito de utilização, as variáveis usadas pelo indicador e os modelos matemáticos usados. Indicam-se neste guia alguns dos tipos de indicadores mais comuns. Os indicadores são casos particulares de modelos simples, mais adiante, na caracterização dos modelos (ver secção 3.4) serão descritos modelos mais elaborados e específicos.

3.3.1. Indicadores de consumo

Serão apresentados vários tipos de indicadores de consumo que relacionem de forma linear o consumo de uma determinada forma de energia com a finalidade para a qual será utilizada. A equação geral que permite definir os indicadores de consumo é:

$$Consumo = \frac{Consumo_{energético}}{Forma de Utilização} \quad (3.11)$$

Em que:

- *Consumo* – Indicador de consumo;
- *Consumo_{energético}* – Consumo da forma de energia utilizada;
- *Forma de Utilização* – Tipo de utilização para a forma de energia utilizada.

Em seguida serão demonstrados vários tipos de indicadores de consumo que deverão ser considerados na realização do Plano M&V.

3.3.1.1. Consumo por área

Representa o valor do consumo energético por área do edifício e descrito por uma equação do tipo:

$$\text{Consumo}_{\text{Área}} = \frac{\text{Consumo}}{\text{Área}} \quad (3.12)$$

Em que:

- $\text{Consumo}_{\text{Área}}$ – Consumo por área do edifício;
- Consumo – Consumo das diferentes formas de energia existentes na instalação;
- Área – É a área útil, bruta, bruta interior, fronteira de medição, fronteira de utilização, ou outros tipos a definir.

O consumo pode ser consumo agregado, para diferentes formas de energia, após convertidas numa única grandeza; pode ser o agregado de diversas unidades de medição; pode ser agregado para um determinado período de tempo. A área do edifício pode ser a área útil (não incluindo corredores, jardins, etc.), área bruta (área total do edifício incluindo área exterior), área bruta interior (área total do edifício excluindo área exterior), área da fronteira de medição, área da fronteira de utilização, ou outros tipos a definir.

Por exemplo, poderá ser a relação entre a energia eléctrica consumida no sistema de aquecimento de uma instalação e espaço (área) que se pretende climatizar. O processo de cálculo terá a seguinte equação:

$$\text{Consumo}_{ea} = \frac{E_{ea}}{S_c} \quad (3.13)$$

Em que:

- Consumo_{ea} – Consumo de energia (electricidade, combustível) para o aquecimento de uma determinada área, em kWh/m²;
- E_{ea} – Energia eléctrica consumida para o aquecimento, durante um ano, em kWh;
- S_c – Superfície que se pretende climatizar, em m².

Nos sistemas de aquecimento, refrigeração e produção de AQS, será necessário instalar pelo menos um contador eléctrico e vários contadores eléctricos para sistemas auxiliares, para que seja possível determinar a energia eléctrica consumida exclusivamente pelo sistema de aquecimento (E_{ea}):

$$E_{ea} = \frac{E_{el} \cdot E_{ua}}{E_u} \quad (3.14)$$

Em que:

- E_{el} - Energia eléctrica total consumida nos sistemas (aquecimento, refrigeração e produção de AQS), durante um ano, em kWh;
- E_{ua} - Energia útil medida pelo contador ou pela soma de contadores de energia térmica do sistema de aquecimento da instalação, durante um ano, em kWh;
- E_u - Energia térmica útil transmitida à instalação, durante um ano, em kWh, obtida através do somatório das medidas dos contadores de energia térmica localizados nos subsistemas num determinado momento, menos a soma das medidas dos mesmos contadores do ano anterior.

Para o cálculo da superfície climatizada (S_c) considera-se apenas a superfície de maior impacto de utilização, se for o caso de um edifício empresarial seriam os gabinetes, corredores, salas de espera, etc.

3.3.1.2. Consumo por produção

É um tipo de indicador de consumo específico bastante utilizado na avaliação de eficiência de instalações de produção industrial, em que existe uma quantificação do produto produzido. Este tipo de indicadores muitas das vezes surge denominado apenas por consumo específico. O indicador deve ser descrito por uma equação do tipo:

$$Consumo_{produção} = \frac{Consumo}{Produção} \quad (3.15)$$

Em que:

- $Consumo_{produção}$ – Consumo por produção de uma instalação;
- $Consumo$ – Consumo das diferentes formas de energia na instalação;
- $Produção$ – Quantificação do produto produzido.

Deve-se detalhar a forma como se estima o consumo tendo em conta os aspectos de conversão e agregação referidos anteriormente, e a unidade em que se apresenta.

Também deve ser descrita a forma como é medida a produção (ex.: volume de produto; número de unidades, etc.). A unidade de quantificação do produto deverá ser tal que permita uma boa afectação entre a quantidade de produto e a energia usada na sua produção.

Este indicador reflecte a eficiência produtiva através de uma relação linear entre produção e consumo de energia.

Por exemplo, numa fábrica de calçado pretende-se determinar os níveis de consumo energético anual necessários para a sua produção. Foram recolhidos todos os dados relativamente aos equipamentos existentes na fábrica essenciais ao fabrico de calçado (maquinaria de cozer, tingimento, etc.), bem como a iluminação. Onde se obteve pela equação do indicador de produção:

$$Consumo_{produção\ anual} = \frac{Consumo_{energético\ anual}}{Produção_{calçado\ anual}} \quad (3.16)$$

Em que:

- $Consumo_{p\text{ anual}}$ – Consumo por produção anual, em kWh/m³ de produto, kWh/nº de unidades produzidas, etc.;
- $Consumo_{energético\text{ anual}}$ – Consumo energético anual, energia eléctrica necessária ao funcionamento da maquinaria para a produção de calçado, em kWh;
- $Produção_{calçado\text{ anual}}$ – Unidades de calçado produzidas anualmente, em m³, nº de unidades, etc..

3.3.1.3. Consumo por ocupação

É um tipo de indicador utilizado em edifícios de serviços ou em escritórios ou edifícios de educação. Permite avaliar a eficiência de utilização do edifício. O indicador é descrito pela seguinte equação:

$$Consumo_{ocupação} = \frac{Consumo}{Ocupação} \quad (3.17)$$

Em que:

- $Consumo_{ocupação}$ – Consumo por ocupação dos utilizadores numa instalação;
- $Consumo$ – Consumo das diferentes formas de energia na instalação;
- $Ocupação$ – Número de utilizadores que frequentam e usufruem da instalação.

Tal como nos indicadores anteriores deve-se detalhar a forma como se estima o consumo tendo em conta os aspectos de conversão e agregação referidos anteriormente, e a unidade em que se apresenta. Também deve ser descrita a forma como é medida a ocupação (ex.: sistemas de contagem de entrada, sistemas de controlo de presenças, estimativas de ocupação, etc.). Os sistemas de contagem de pessoas são sistemas de medição de ocupação dedicados. Os sistemas de controlo de presença são não dedicados, destinando-se a controlo de tempos de serviço dos empregados em escritórios. Por vezes é necessária a utilização de estimativas, é o caso de estabelecimentos de ensino em que são conhecidos os horários dos espaços e o número esperado de alunos para esses horários.

Por exemplo, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto conhece-se o número de alunos que frequentam a instalação através do número de inscrições por curso. A criação dos horários é realizada mediante o número de alunos por curso e o número de salas existentes. Com estes dados é possível efectuar uma estimativa do número de alunos que frequentarão as aulas do respectivo curso e horário. Assim o indicador de consumo por ocupação permite o cálculo desta estimativa anual, onde os alunos irão consumir espaço (salas de aula, auditórios, corredores, etc.), bem como formas de energia eléctrica (iluminação, elevadores, máquinas café, máquinas de snacks, etc.) através da equação:

$$Consumo_{ocupação\text{ anual}} = \frac{Consumo_{energético\text{ anual}}}{Ocupação_{anual}} \quad (3.18)$$

Em que:

- $Consumo_{ocupação\text{ anual}}$ – Consumo de ocupação anual na faculdade, em kWh/alunos;

- $Consumo_{energético\ anual}$ – Consumo das diferentes formas de energia na faculdade, em kWh;
- $Ocupação_{anual}$ – Número de utilizadores que frequentam a faculdade, em alunos.

3.3.1.4. Consumo por tempo de utilização

O tempo de utilização é medido em horas. Poderá simplesmente corresponder ao tempo real durante o qual é medido o consumo ou tempo equivalente de utilização. O tempo de utilização corresponde ao tempo total de funcionamento. Este indicador corresponde à potência média de consumo.

$$Consumo_{Tempo\ Utilização} = \frac{Consumo_{energético}}{Tempo_{utilização}} \quad (3.19)$$

Em que:

- $Consumo_{Tempo\ Utilização}$ – Consumo por tempo de utilização dos equipamentos, em kW;
- $Consumo_{energético\ iluminação}$ – Consumo energético dos equipamentos, em kWh;
- $Tempo_{utilização}$ – É o tempo durante o qual são medidos os consumos dos equipamentos, em h (horas).

Tempo equivalente de utilização

O tempo equivalente de utilização é um indicador que reflecte o factor de utilização dos equipamentos. É muito usado para avaliar o factor de utilização de sistemas de geração em especial de energias renováveis, mas também pode ser um indicador interessante para avaliar a utilização de equipamentos de consumo. Em muitos casos apenas se dispõe da potência nominal do equipamento e do número de horas equivalentes de utilização, sendo isto suficiente para caracterizar o consumo agregado durante um período de tempo. A equação que permite o cálculo do tempo equivalente de utilização é a seguinte:

$$Tempo_{Equivalente\ utilização} = \frac{Consumo}{Potência_{nominal}} \quad (3.20)$$

Em que:

- $Tempo_{Equivalente\ utilização}$ – Tempo onde os níveis de utilização dos equipamentos funcionam à potência nominal, em h (horas);
- $Consumo$ – Consumo dos equipamentos ou sistema, em kWh;
- $Potência_{nominal}$ – Valor nominal de potência do equipamento, em kW.

O tempo equivalente de utilização também pode ser expresso em valor relativo ao tempo de medição (em %). Neste caso o indicador representa simultaneamente um factor de utilização em tempo relativo e em consumo relativo. Seguirá uma equação do seguinte tipo:

$$Tempo_{Equivalente\ utilização}(\%) = \frac{Tempo_{Equivalente\ utilização}}{Tempo_{Total}} = \frac{Potência_{média}}{Potência_{nominal}} \quad (3.21)$$

Em que:

- $Tempo_{Equivalente\ utilização}$ – Tempo onde os níveis de utilização dos equipamentos funcionam à potência nominal, em h (horas);
- $Tempo_{Total}$ – Tempo total de funcionamento dos equipamentos, em h (horas);
- $Potência_{média}$ – Valor médio da potência observada no tempo total de funcionamento dos equipamentos, em kW;
- $Potência_{nominal}$ – Valor nominal de potência do equipamento, em kW.

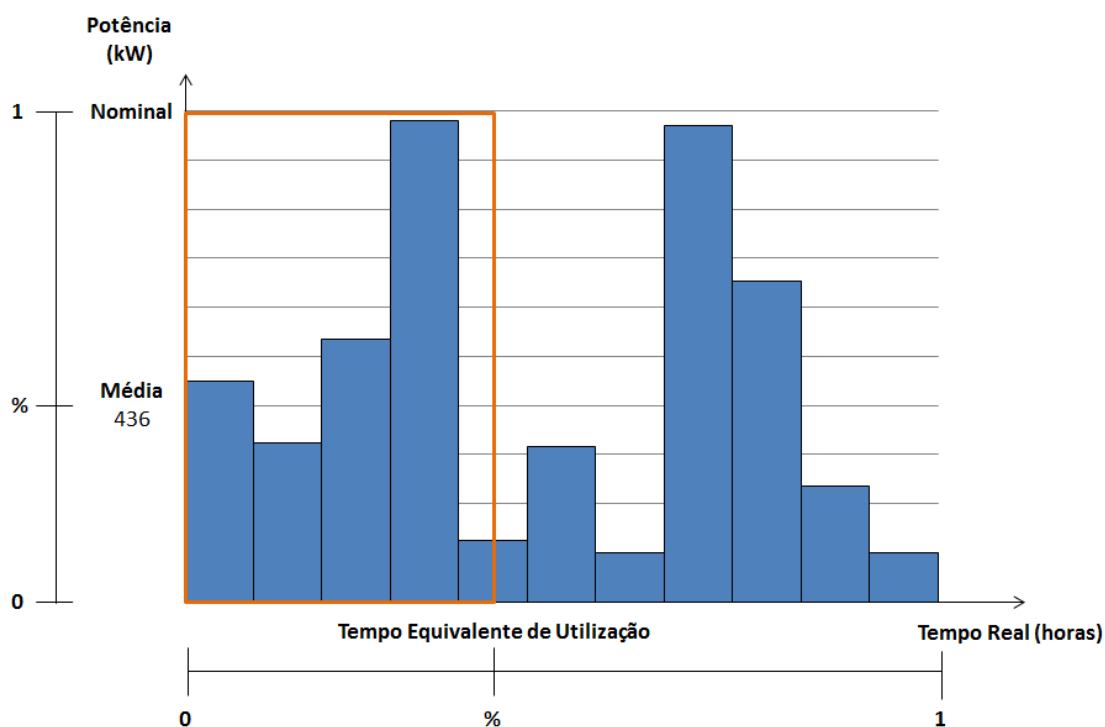


Figura 3.8 – Potência/Tempo Equivalente de Utilização.

O rectângulo representado pela linha a laranja determina a área de consumo estabelecida pelo tempo equivalente de utilização. Este consumo é calculado pela seguinte equação:

$$Consumo_{Utilização} = Potência \cdot Tempo_{Utilização} \quad (3.22)$$

Em que:

- $Consumo_{Utilização}$ – Consumo energético delimitado pelo tempo equivalente de utilização, em kWh;
- $Potência$ - Valor de potência consumida pelos equipamentos, em kW;
- $Tempo_{Utilização}$ – Intervalo estabelecido de tempo equivalente de utilização dos equipamentos, em h (horas), h/dia (horas/dia), etc.

Este indicador de tempo equivalente de utilização é muito usado em caracterização de consumos na iluminação. Por vezes este indicador de comportamento de consumo é definido com informação qualitativa e holística, definindo-se o número de horas equivalentes de

utilização típica da iluminação. A partir deste indicador, e conhecida a potência nominal dos equipamentos de iluminação, é possível caracterizar os consumos da seguinte forma:

Tabela 3.14 – Características dos equipamentos de iluminação e sua utilização diária.

Potência Instalada (kW)	Tempo de Utilização (h/dia)
225	5

Assim, pela equação dos consumos por utilização (3.22) temos:

$$\text{Consumo}_{\text{Utilização}} = \text{Potência} \times \text{Tempo}_{\text{Utilização}} = 225 \times 5 = 1125 \text{ kWh/dia}$$

3.3.1.5. Consumo por ciclo de utilização

O ciclo de utilização é usado em casos em que o processo de consumo é complexo mas é recorrente e pode ser quantificado por número de ciclos. Este tipo de indicador é bastante útil, uma vez que permite determinar quais os consumos baseando-se nas necessidades energéticas dos equipamentos que se pressupõem constantes durante um ciclo de funcionamento.

$$\text{Consumo}_{\text{Ciclo Utilização}} = \frac{\text{Consumo}_{\text{energético equipamento}}}{\text{Ciclo de Utilização}} \quad (3.23)$$

Em que:

- $\text{Consumo}_{\text{Ciclo Utilização}}$ – Consumo energético por ciclos de utilização dos equipamentos, em kWh/nº ciclos;
- $\text{Consumo}_{\text{energético equipamento}}$ – Consumo energético característico do equipamento, kWh;
- $\text{Ciclo de Utilização}$ – Número de ciclos de funcionamento do equipamento, em nº ciclos.

Por exemplo, uma lavandaria de um hospital possui um elevado número de máquinas industriais de lavar a roupa que têm um funcionamento diário de lavagens incerto, isto é, o número de lavagens realizadas diariamente difere consoante a ocupação do número de quartos do hospital, bem como algumas necessidades extra (lavagem de fardas de funcionários, etc.). O pretendido será analisar os consumos por ciclo diário de funcionamento das máquinas de lavar, onde pela equação do indicador temos:

$$\text{Consumo}_{\text{Ciclo Utilização}} = \frac{\text{Consumo}_{\text{energético máquina de lavar}}}{\text{Número de lavagens diárias}} \quad (3.24)$$

Em que:

- $\text{Consumo}_{\text{Ciclo Utilização}}$ – Consumo das máquinas de lavar por número de lavagens diárias, em kWh/nº lavagens;

- $Consumo_{energético\ máquina\ de\ lavar}$ – Consumo energético característico da máquina de lavar numa lavagem, em kWh;
- $Número\ de\ lavagens\ diárias$ – Número de lavagens diárias de cada máquina, em nº lavagens.

Com este estudo é possível obter os consumos diários desagregados de cada máquina de lavar por ciclos de lavagem.

3.3.1.6. Consumo por unidade de utilização

Este tipo de indicador é muito usado em casos onde é necessário uma unidade de utilização específica da qual influencia o consumo energético, como por exemplo: número de camas de um hospital, número de alunos de um estabelecimento de ensino, *Heating-Degree-Day* (HDD), *Cold-Degree-Day* (CDD), número de pisos para utilização de elevadores, quilómetros percorridos por um veículo, etc. Outros indicadores de utilização podem ser estabelecidos, sendo importante a sua detalhada especificação e condições de medição no Plano M&V.

Consumo por utilização de calor

Numa perspectiva de desempenho energético de sistemas de aquecimento e arrefecimento, são úteis indicadores de consumo energético em função da utilização do calor. As medidas de consumo energético terão que ter em conta unidades de medição energética adequadas às fontes energéticas usadas (ex.: electricidade, combustíveis líquidos, combustíveis gasosos, fontes renováveis) e conversões energéticas, caso sejam utilizadas fontes energéticas diversas a agregar no mesmo indicador. A utilização de calor pode ser medida de várias formas como serão apresentadas a seguir (HDD, HDDr, HDDi, CDD, CDDr, CDDi)

$$Consumo_{Utilização\ calor} = \frac{Consumo_{energético}}{Utilização\ de\ calor} \quad (3.25)$$

Em que:

- $Consumo_{Utilização\ calor}$ – Consumo por utilização de calor dos equipamentos;
- $Consumo_{energético}$ – Consumo energético dos equipamentos de aquecimento ou arrefecimento;
- $Utilização\ de\ calor$ – Medidas de utilização de calor, ex.: HDD ou CDD.

A utilização de calor pode ser medida de várias formas:

- Medida de calor fornecida pelos sistemas de aquecimento ou refrigeração (caso de sistemas individuais para a fronteira de utilização), inclui as perdas na rede. Medido com a variável de fluxo (E_u);
- Medida de calor recebido pelo espaço (caso de redes de calor), não inclui as perdas na rede. Medido com a variável de fluxo (E_{ua});

- Medida de calor através da diferença entre temperatura no interior e no exterior à fronteira de utilização. Em casos em que a energia associada ao nível de calor depende do tipo e estado do fluido portador de calor (ar, água, vapor, fluido térmico) então será necessária uma medição de entalpia. Algumas destas variáveis são variáveis de fluxo medidas com base em caudalímetros, combinado com medidas de temperatura e medidas de pressão.

As medidas de calor podem ser baseadas em medições directas de variáveis de estado de temperatura. Por exemplo, a água quente pode ser medida pela diferença entre temperatura de utilização e temperatura afluyente de uma determinada quantidade de água consumida, dada pela seguinte equação:

$$\text{Consumo}_{\text{Utilização água quente}} = \sum[T' \cdot V] = \sum[(T_u - T_a) \cdot V] \quad (3.26)$$

Em que:

- $\text{Consumo}_{\text{Utilização água quente}}$ – Consumo de utilização de águas sanitárias aquecidas, em °C.m³/s;
- T' – Diferença entre a temperatura no interior e no exterior à fronteira de utilização, em °C;
- T_u – Temperatura de utilização, em °C;
- T_a – Temperatura afluyente, em °C;
- V – Fluxo de água, em m³/s.

Também podemos medir a utilização de calor como uma variação de temperatura. Poderá ser uma variação de temperatura num intervalo temporal, por exemplo o incremento de temperatura num espaço. Ou poderá ser uma variação de temperatura entre o interior e o exterior da fronteira de utilização. Neste caso poderemos utilizar as seguintes variáveis de utilização de calor:

- *Heating Degree Day* (HDD) ou *Cooling Degree Day* (CDD) são medidas de utilização de calor concebidas para relacionar o consumo de energia com as necessidades de aquecimento ou arrefecimento. Consiste no valor de desvio de temperatura média diária exterior relativamente a uma temperatura de referência.
- HDDr ou CDDr são medidas de HDD e CDD em que a temperatura de referência será uma temperatura interior num local pré-definido e com valor acordado no âmbito do projecto.
- HDDi ou CDDi são medidas de HDD e CDD em que a temperatura interior não é a de referência mas sim a temperatura efectivamente medida por uma variável de estado.

Detalharemos de seguida cada um destes indicadores de utilização de calor:

- **Heating Degree Day (HDD) convencional**

O *Heating Degree Day* é definido em relação a uma temperatura de referência – quando a temperatura exterior está acima da temperatura interior do edifício ou instalação. A temperatura de referência mais adequada para qualquer edifício depende da temperatura interior para o qual está climatizado e a natureza de construção (incluindo sistemas de geração de calor e os equipamentos inerentes ao edifício). É frequente utilizar para o HDD temperaturas de 18,3°C, ou 15,5°C – temperaturas de referência mais apropriadas para grande parte dos edifícios.

Existem vários métodos dos quais se pode calcular o HDD, onde quanto maior for o detalhe do registo das temperaturas, mais preciso será o seu cálculo. Porém, o HDD é geralmente determinado utilizando métodos de aproximação simples que usam os valores diários da temperatura, em vez de registos de temperaturas mais detalhados como por exemplo de 30 em 30 minutos. Um método de aproximação bastante comum consiste na subtracção da temperatura de referência com a temperatura média de um dia. Se o resultado for um valor negativo ou zero, então nesse mesmo dia terá zero HDD. Se o resultado for um valor positivo, então esse valor representará o número de HDD nesse mesmo dia. Modelizando matematicamente temos:

$$HDD (^{\circ}C) = Temperatura_{Referência} - Temperatura_{Média} \quad (3.27)$$

Se $HDD (^{\circ}C) \leq 0$ então $HDD (^{\circ}C) = 0$

Se $HDD (^{\circ}C) > 0$ então $HDD (^{\circ}C) = Temperatura_{Referência} - Temperatura_{Média}$

Em que:

- HDD – *Heating Degree Day* convencional, em °C;
- $Temperatura_{Referência}$ – Temperatura de referência com valores de 18,3 °C ou 15,5 °C;
- $Temperatura_{Média}$ – Temperatura média exterior registada em cada dia, em °C;

- **Heating Degree Day (HDDr), com especificação de valor de referência**

É um indicador específico para medição de temperatura, onde o modelo matemático e os procedimentos de cálculo são exactamente iguais ao HDD, contudo, existe uma diferença no que diz respeito às temperaturas de referência que neste caso serão estabelecidas no âmbito do projecto em vez de serem utilizados valores de referência já existentes e que se aplicam geralmente neste tipo de indicador.

$$HDDr (^{\circ}C) = Temperatura_{Referência} - Temperatura_{Média} \quad (3.28)$$

Se $HDDr (^{\circ}C) \leq 0$ então $HDDr (^{\circ}C) = 0$

Se $HDDr (^{\circ}C) > 0$ então $HDDr (^{\circ}C) = Temperatura_{Referência} - Temperatura_{Média}$

Em que:

- HDD_r – *Heating Degree Day* referência, em °C;
 - $Temperatura_{Referência}$ – Temperatura de referência acordada no âmbito do projecto, em °C.
 - $Temperatura_{Média}$ – Temperatura média exterior registada em cada dia, em °C;
- **Heating Degree Day (HDDi), temperatura exterior/interior**

É também um indicador específico para medição de temperatura, onde o modelo matemático e os procedimentos de cálculo são exactamente iguais ao HDD, só que neste caso pretende-se relacionar a temperatura exterior com a interior da instalação. Assim, o número de HDDi (°C) terá a seguinte equação:

$$HDDi (°C) = Temperatura_{exterior} - Temperatura_{interior} \quad (3.29)$$

Se $HDDi (°C) \leq 0$ então $HDDi (°C) = 0$

Se $HDDi (°C) > 0$ então $HDDi (°C) = Temperatura_{exterior} - Temperatura_{interior}$

Em que:

- $HDDi$ – *Heating Degree Day*, em °C;
 - $Temperatura_{exterior}$ – Temperatura exterior registada, em °C;
 - $Temperatura_{interior}$ – Temperatura interior registada, em °C.
- **Cooling Degree Day (CDD), convencional:**

Para este indicador deverão ser realizados os mesmos procedimentos do HDD, só que neste caso o pretendido será o arrefecimento da temperatura interior da instalação relativamente às temperaturas exteriores e de referência. A modelização matemática para o cálculo do CDD é:

$$CDD (°C) = Temperatura_{Média} - Temperatura_{Referência} \quad (3.30)$$

Se $CDD (°C) > 0$ então $CDD (°C) = Temperatura_{Média} - Temperatura_{Referência}$

Se $CDD (°C) \leq 0$ então $CDD (°C) = 0$

Em que:

- CDD – *Cooling Degree Day*, em °C;
- $Temperatura_{Média}$ – Temperatura média exterior registada em cada dia, em °C;
- $Temperatura_{Referência}$ – Temperatura de referência com valores de 18,3°C ou 15,5°C, em °C.

- **Cooling Degree Day (CDDr), com especificação de valor de referência**

É um indicador específico para medição de temperatura, onde o modelo matemático e os procedimentos de cálculo são exactamente iguais ao CDD, contudo, existe uma diferença no que diz respeito às temperaturas de referência que neste caso serão estabelecidas no âmbito do projecto em vez de serem utilizados valores de referência já existentes e que se aplicam geralmente neste tipo de indicador.

$$CDD\ (^{\circ}C) = Temperatura_{Média} - Temperatura_{Referência} \quad (3.31)$$

Se $CDD\ (^{\circ}C) > 0$ então $CDD\ (^{\circ}C) = Temperatura_{Média} - Temperatura_{Referência}$

Se $CDD\ (^{\circ}C) \leq 0$ então $CDD\ (^{\circ}C) = 0$

Em que:

- CDD – *Cooling Degree Day*, em $^{\circ}C$;
- $Temperatura_{Média}$ – Temperatura média exterior registada em cada dia, em $^{\circ}C$;
- $Temperatura_{Referência}$ – Temperatura de referência estipulado no âmbito do projecto, em $^{\circ}C$.

- **Cooling Degree Day (CDDi), temperatura exterior/interior**

É também um indicador específico para medição de temperatura, onde o modelo matemático e os procedimentos de cálculo são exactamente iguais ao CDD, só que neste caso pretende-se relacionar a temperatura exterior com a interior da instalação. Assim, o número de CDDi ($^{\circ}C$) terá a seguinte equação:

$$CDDi\ (^{\circ}C) = Temperatura_{exterior} - Temperatura_{interior} \quad (3.32)$$

Se $CDDi\ (^{\circ}C) \leq 0$ então $CDDi\ (^{\circ}C) = 0$

Se $CDDi\ (^{\circ}C) > 0$ então $CDDi\ (^{\circ}C) = Temperatura_{exterior} - Temperatura_{interior}$

Em que:

- $CDDi$ – *Cooling Degree Day*, em $^{\circ}C$;
- $Temperatura_{exterior}$ – Temperatura exterior registada, em $^{\circ}C$;
- $Temperatura_{interior}$ – Temperatura interior registada, em $^{\circ}C$.

3.3.1.7. Consumo por emissões

Um indicador de consumo por emissões é utilizado quando a fonte de energia fornecida a uma instalação é do tipo térmica ou eléctrica. No caso da energia fornecida for do tipo térmica, será necessário a utilização de um combustível, como por exemplo o gasóleo, gás natural, propano, etc., com os respectivos índices de emissões de CO_2 apresentados no Anexo B. No caso da energia fornecida for do tipo eléctrica, será necessário a utilização de padrões de electricidade específica apresentados também no Anexo B.

$$Consumo_{emissões} = \frac{Consumo_{energético}}{E_{fornecida} \cdot Emissões_{CO_2}} \quad (3.33)$$

Em que:

- $Consumo_{emissões}$ – Consumo energético por emissões de CO₂ face ao tipo de energia fornecida (térmica ou eléctrica), em kWh/gr CO₂, kWh/ton CO₂, etc.;
- $Consumo_{energético}$ – Energia consumida pelos equipamentos existentes na instalação, poderá ser sob a forma de calor ou electricidade, em kWh;
- $E_{fornecida}$ – Energia fornecida sob a forma de calor ou electricidade à instalação, em kWh;
- $Emissões_{CO_2}$ – Emissões de CO₂ por cada kWh de energia fornecida (térmica ou eléctrica) à instalação, em gr CO₂/kWh ou ton CO₂/kWh.

Coeficiente de emissões de CO₂ para energia fornecida (térmica ou eléctrica)

Ke – Coeficiente de emissões de CO₂ que depende da energia fornecida (eléctrica ou térmica) ao sistema (aquecimento, refrigeração, produção de AQS). Com base nos valores de emissões de CO₂ no Anexo B, calculou-se o coeficiente de emissão (*Ke*), assumindo como valor de referência as emissões de CO₂ do gás natural:

$$Ke = \frac{Emissões_{CO_2} \text{ energia fornecida}}{Emissões_{CO_2} \text{ referência}} \quad (3.34)$$

Em que:

- $Emissões_{CO_2} \text{ Energia fornecida}$ – Emissões de CO₂ e tipo de energia fornecida (ver Anexo B), em gr CO₂/kWh de combustível;
- $Emissões_{CO_2} \text{ Referência}$ – Valor de referência (gás natural) para o cálculo dos coeficientes de emissão (*Ke*), em gr CO₂/kWh de combustível.

Tabela 3.15 – Coeficiente de emissões (*Ke*) de energia fornecida (térmica).

Energia térmica fornecida	<i>Ke</i> Coef. Emissões
Gás natural	1,0000
Gasóleo C	1,4069
GPL	1,1961
Carvão uso doméstico	1,7010
Biomassa	0
Biocarburantes	0
Solar térmica baixa temperatura	0

Tabela 3.16 – Coeficiente de emissões (K_e) de energia fornecida (eléctrica).

Energia eléctrica fornecida	K_e Coef. Emissões
Electricidade convencional peninsular	3,1814
Electricidade convencional extra-peninsular	4,8088
Solar Fotovoltaica	0
Electricidade convencional nas horas de pico nocturnas para sistemas de acumulação eléctrica peninsular	2,5343
Electricidade convencional nas horas de pico nocturnas para sistemas de acumulação eléctrica extra-peninsular	4,8088

3.3.1.8. Consumo por produtividade económica

É um indicador que relaciona a eficiência energética com a eficiência económica dos processos produtivos, seja a nível nacional, regional ou empresarial. É usual referir estes indicadores como intensidade energética. A nível nacional ou regional utiliza-se como indicador económico o PIB (Produto Interno Bruto). A nível empresarial, mas também a nível regional, utiliza-se o VAB (Valor Acrescentado Bruto). O indicador baseado no PIB é usado para avaliar o consumo a um nível de produção macroeconómica, em países, regiões ou cidades. O indicador baseado em VAB é usado para avaliar o consumo a nível contabilístico (empresas). Estes indicadores só existem numa base temporal anual ou trimestral e em alguns casos mensal.

Embora estes indicadores sejam muito usados eles nem sempre reflectem a eficiência energética dos processos. Estes indicadores confundem eficiência energética com eficiência económica. Em muitos casos existe alteração da eficiência económica, tendo reflexos directos na intensidade energética sem que tenha havido alteração da eficiência energética. Assim, recomenda-se cuidado na utilização destes indicadores devendo proceder-se a um ajuste ao nível das produtividades económica. Os ajustes devem ser realizados tendo em conta as características de consumo função dos indicadores económicos, sendo para tal necessária uma caracterização da curva característica com base em múltiplos casos (países, empresas, etc.). Este assunto será referido de mais adiante (ver secção 3.4.3.3).

Consumo por PIB (Produto Interno Bruto)

É muito utilizado para avaliar a eficiência energética de países, regiões ou cidades, através da medição do quociente entre consumo pelo PIB (Produto Interno Bruto). Este indicador matematicamente representa-se pela seguinte equação:

$$Consumo_{PIB} = \frac{Consumo_{energético}}{PIB} \quad (3.35)$$

Em que:

- $Consumo_{PIB}$ – Consumo total energético por valor do PIB, em kWh/€;
- $Consumo_{energético}$ – Consumo das várias formas energéticas utilizadas, em kWh;

- *PIB* – Produto interno bruto onde o seu valor poderá representar um país, região ou cidade, em milhares de €.

Deverá ser especificado quais os tipos de consumo energético contabilizados. Geralmente é considerado todo o consumo de energia primária, mas se for usado o consumo final (caso da electricidade) é necessário especificar se integra as perdas e certamente já integrará as produções endógenas de energia. Estes detalhes devem ser especificados de forma a garantir a coerência do indicador quando usado em comparações.

O PIB (produto interno bruto) representa a soma (em valores monetários) de todos os bens e serviços finais produzidos numa determinada região (quer seja, países, cidades, regiões), durante um determinado período (mês, trimestre, ano, etc.). O PIB é um dos indicadores mais utilizados na macroeconomia com o objectivo de mensurar a actividade económica de uma região.

Na contabilização do PIB, considera-se apenas bens e serviços finais, excluindo da equação todos os bens de consumo intermédio. Isso é feito com o intuito de evitar o problema de dupla contabilização, ou seja, quando valores gerados na cadeia de produção aparecem contabilizados duas vezes no cálculo do PIB.

O valor do PIB é calculado a partir do valor gerado em cada uma das empresas. Esse valor gerado é o VAB (valor acrescentado bruto), a diferença entre o valor da produção e os consumos intermédios de cada empresa. Conhecendo o VAB de cada empresa, podemos calcular o PIB como a soma de todos os VABs. Para obtermos o valor do PIB a preços de mercado (PIBpm), o único ajuste necessário fazer é somar impostos e subsídios, que incidem sobre os bens e serviços entre o fim da produção e a venda, isto é, os impostos sobre o consumo, como o IVA. Pode ser calculado pela seguinte equação:

$$PIB = \sum_{i=1}^n VAB_i + (Impostos - Subsídios) \quad (3.36)$$

Sendo VAB_i o valor gerado em cada uma das empresas.

Na seguinte figura podemos visualizar os valores do PIB nacional por regiões para vários anos:

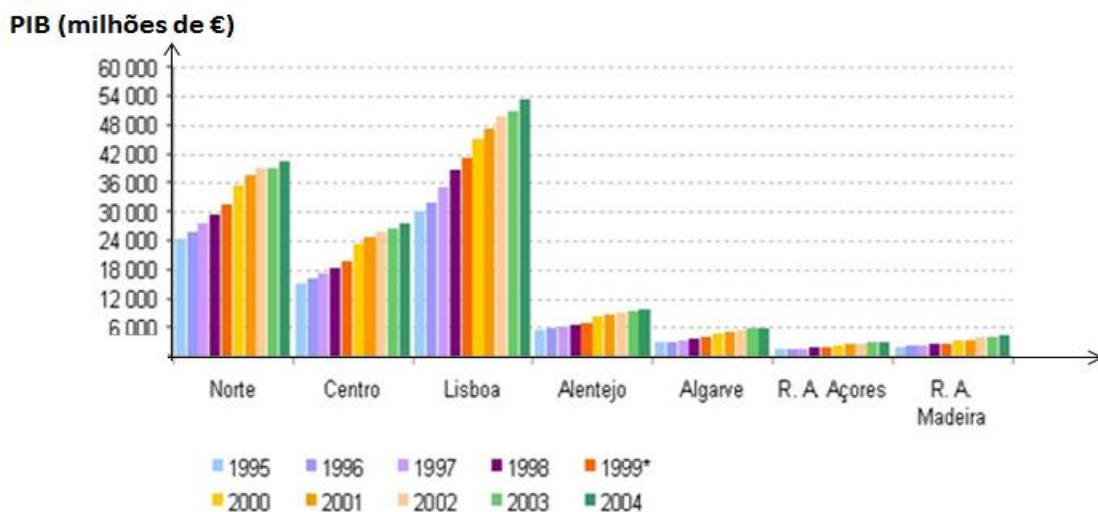


Figura 3.9 – Valor do PIB em Portugal por regiões (1995-2004) [25].

Bem como, valores do PIB por habitante no ano de 2009 em vários países da Europa:

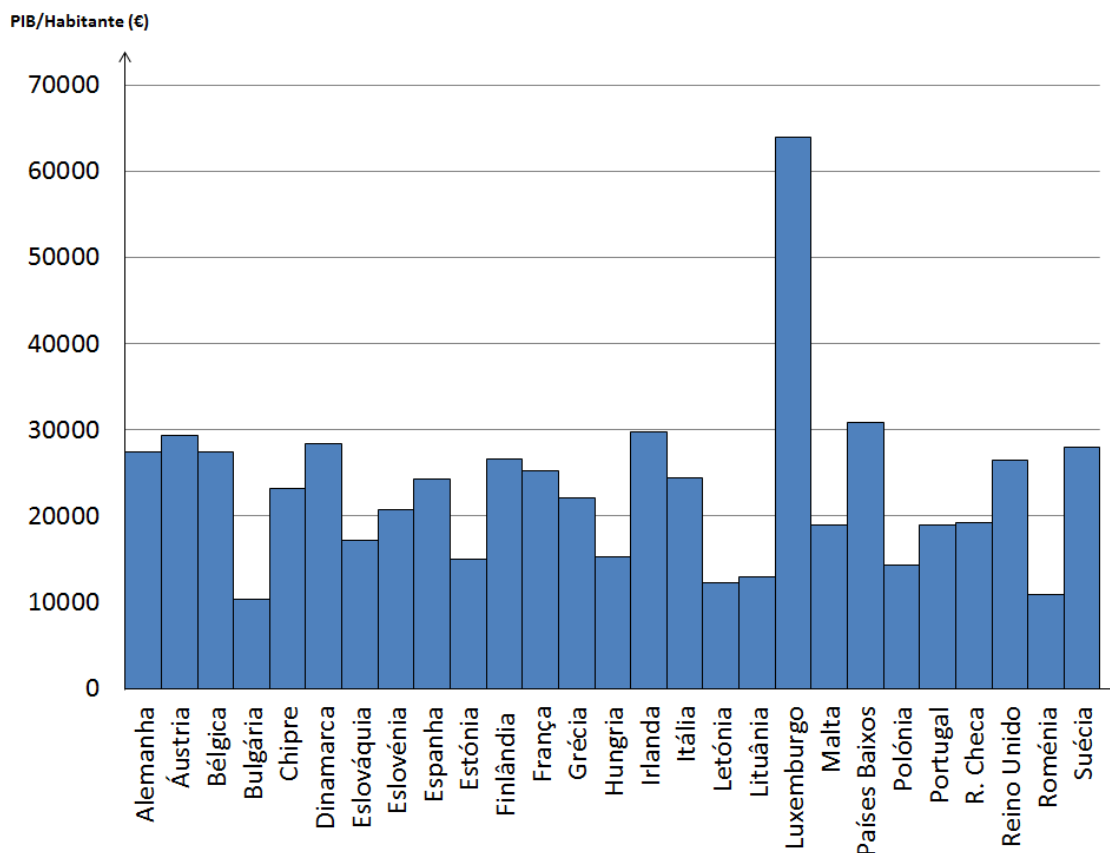


Figura 3.10 – Valores do PIB em 2009 na Europa [26].

O indicador de intensidade energética é a relação entre o consumo interno bruto de energia e o PIB para um determinado ano. Serve para medir o consumo de energia de uma economia e a sua eficiência energética global. O consumo interno bruto de energia é calculado através da soma de consumo interno bruto de cinco tipos de energia: carvão, electricidade, petróleo, gás natural e energias renováveis. A relação da intensidade energética (kgep/k€) é determinada pela divisão entre consumo interno bruto, medido em kgep (kg equivalente de petróleo), e o PIB/habitante, medido em euros. Na seguinte figura podemos visualizar os valores de intensidade energética para o ano de 2009 na Europa:

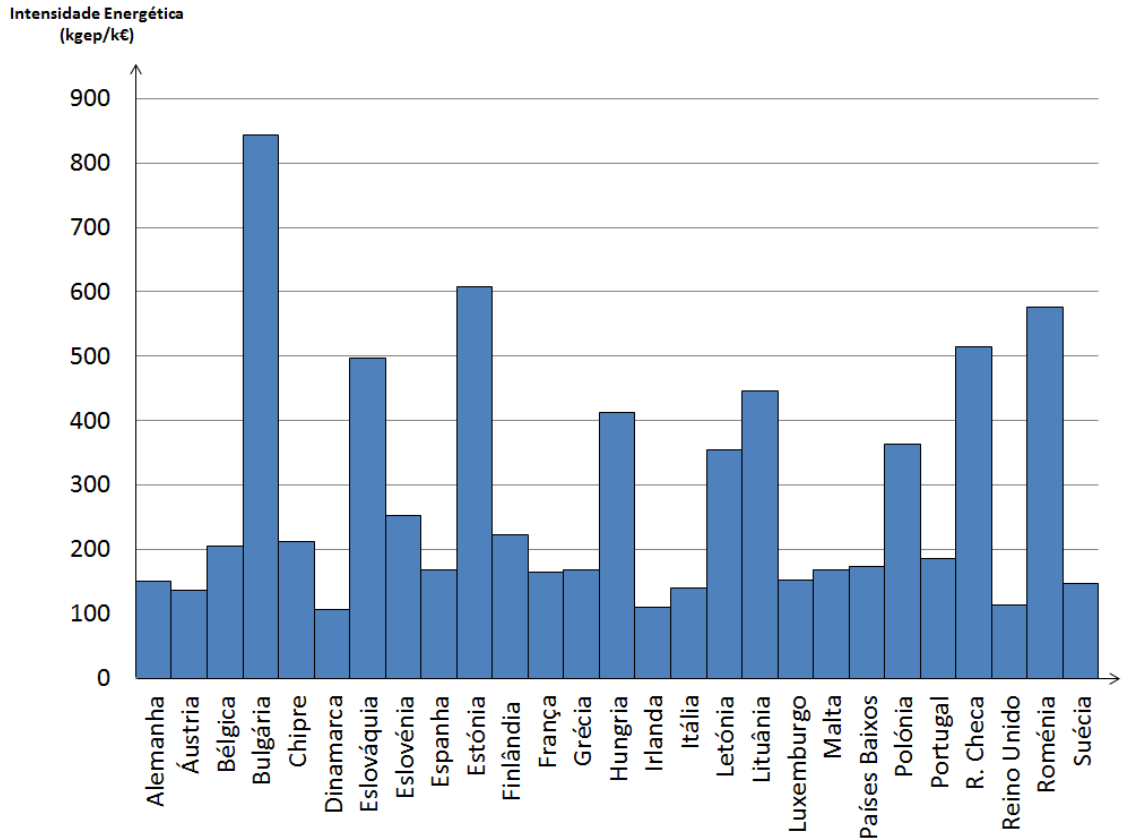


Figura 3.11 – Valor de intensidade energética em 2009 na Europa [26].

E finalmente a relação entre intensidade energética e PIB nos países europeus:

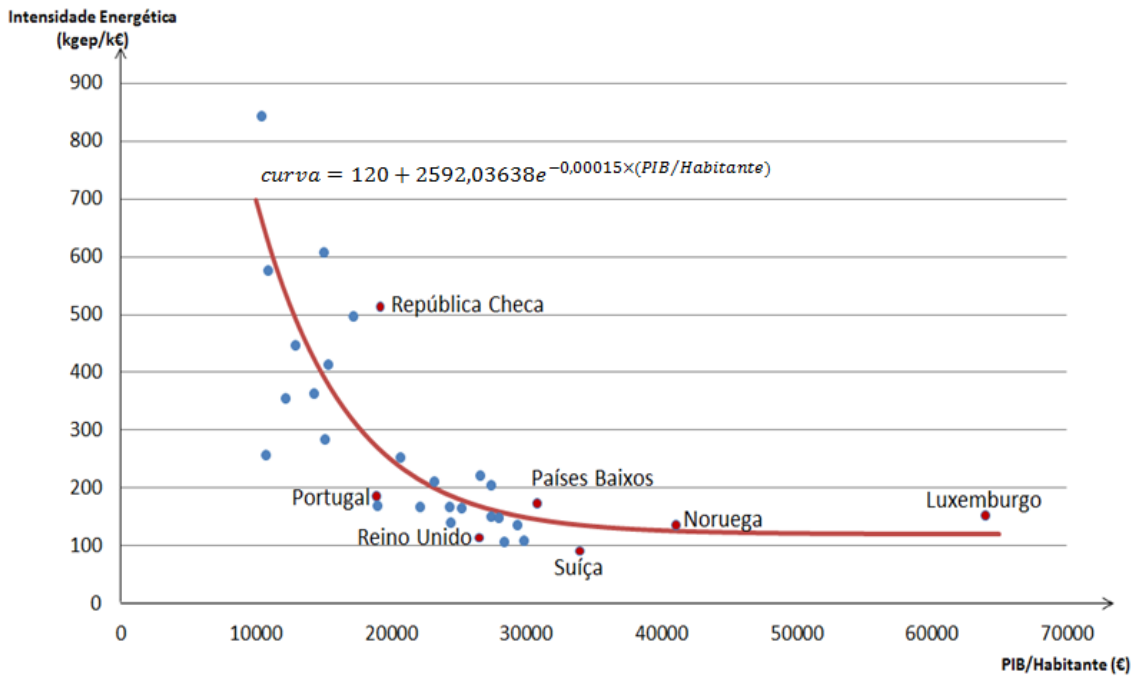


Figura 3.12 – Intensidade energética VS PIB em diferentes países da Europa (2009).

Consumo por VAB (Valor Acrescentado Bruto)

É muito usado para avaliar a intensidade energética de empresas ou sectores produtivos. É utilizado em Portugal no âmbito do SGCIE (Sistema de Gestão de Consumos Intensivos de Energia).

$$Consumo_{VAB} = \frac{Consumo_{energético}}{VAB} \quad (3.37)$$

Em que:

- $Consumo_{VAB}$ – Consumo total energético por valor do VAB, em kWh/€;
- $Consumo_{energético}$ – Consumo das várias formas energéticas utilizadas, em kWh;
- VAB – Valor acrescentado bruto, em €.

Deve especificar-se quais os consumos incluídos e os modelos de conversão e agregação usados.

O VAB é um indicador que permite comparar a produtividade e a evolução dos diferentes sectores de actividade económica e corresponde ao valor que um sector acrescenta a matérias, produtos e serviços utilizados, através dos próprios processos de produção e marketing. Poderá ser calculado pela seguinte equação:

$$VAB = Vendas + Ps + Prs + Tpe - Fse - Cmvmc - Ocpo \quad (3.38)$$

Em que:

- $Vendas$;
- Ps – Prestações de serviço;
- Prs – Proveitos suplementares;
- Tpe – Trabalho para a própria empresa;
- Fse – Fornecimentos e serviços externos;
- $Cmvmc$ – Custo das mercadorias vendidas e das matérias consumidas;
- $Ocpo$ – Outros custos e perdas operacionais.

A seguinte figura mostra os valores de VAB em Portugal durante o ano de 2000 até 2005, para diferentes regiões do país.

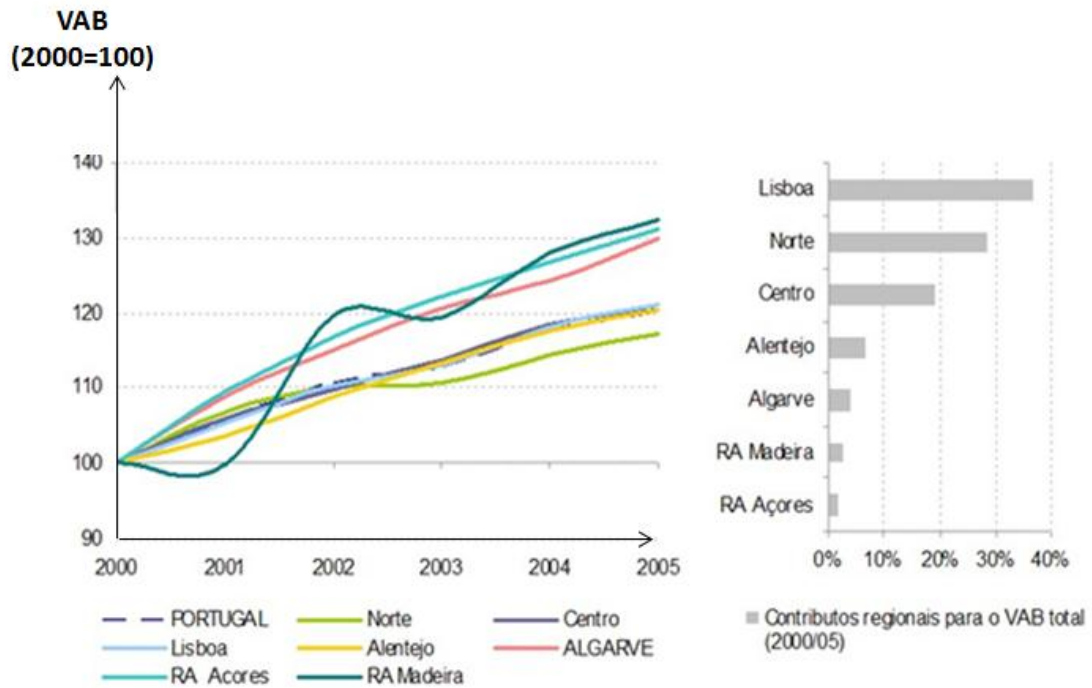


Figura 3.13 – Valor de VAB em Portugal por região (2000-2005) [27].

3.3.2. Indicadores de desempenho

Os indicadores de desempenho são indicadores de eficiência do sistema. Podem ser indicadores de rendimento, aplicados a equipamentos de transformação de energia, em que relacionam os fluxos energéticos de entrada e fluxos energéticos de saída. Ou podem ser indicadores de poupança, aplicados a sistemas de consumo, em que relacionam consumos antes e após a implementação de uma medida de eficiência. Os indicadores de poupança poderão medir diferenças de consumo energético, ou alternativamente poderão medir poupança económica, por inclusão dos custos da energia antes e após a implementação das medidas de racionalização energética.

O desempenho de um sistema não é apenas desempenho energético, embora esta seja a vertente mais importante nos projectos de eficiência. Também existe interesse em avaliar o valor da energia utilizada numa perspectiva de conforto e valorização da utilização dessa energia.

3.3.2.1. Indicadores de rendimento

Os indicadores de rendimento medem o quociente entre os fluxos energéticos de saída e fluxos energéticos de entrada. Em alguns casos os fluxos de saída não são medidas de energia mas sim medidas de utilização da energia (ex.: sistemas de iluminação). Este indicador é calculado pela seguinte equação:

$$\eta = \frac{\phi W_U}{\phi W_E} \quad (3.39)$$

Em que:

- η – Rendimento, adimensional ou % se a equação 3.39 for multiplicada por 100;

- ϕW_U – Fluxo energético Útil, em kWh, ou outra unidade de fluxo energético;
- ϕW_E – Fluxo energético de Entrada, em kWh, ou outra unidade de fluxo energético.

Equipamentos com melhores rendimentos implicam sistemas mais eficientes. É possível estimar a poupança com base em indicadores de rendimento (ver secção 3.4.3.3).

O fluxo energético de entrada é o fluxo energético medido e transferido para o interior da fronteira de utilização. Normalmente este fluxo será medido nas unidades de medição da fronteira de medição correspondente (ex.: medida de electricidade consumida num edifício, medida do gás consumido numa caldeira).

O fluxo energético útil representa a energia efectivamente utilizada dentro da fronteira de utilização. Este fluxo energético corresponde a uma parte do fluxo energético de entrada. A medição do fluxo energético útil pode ser realizada por unidades de medição do equipamento de transformação de energia existente dentro da fronteira de utilização (ex.: calor à saída de uma caldeira). Mas usualmente o fluxo energético útil é medido ou estimado com base em variáveis de estado localizadas no interior da fronteira de utilização (ex.: temperatura dentro de um espaço).

3.3.2.2. Indicadores de poupança energética

Um indicador de poupança mede a diferença entre fluxos energéticos antes e após uma alteração do sistema, como por exemplo a implementação de medidas de eficiência. Estes indicadores são a base para o processo de M&V de projectos de eficiência. Simplesmente um indicador de poupança pode ser uma medição de fluxo energético de entrada. Este indicador é calculado pela seguinte equação:

$$\Delta\phi W = \phi W_{EA} - \phi W_{ED} \quad (3.40)$$

A poupança também pode ser medida em percentagem, relativamente ao fluxo energético antes da alteração do sistema, pela seguinte equação:

$$\Delta\phi W = \frac{\phi W_{EA} - \phi W_{ED}}{\phi W_{EA}} \quad (3.41)$$

Em que:

- $\Delta\phi W$ – Poupança energética corresponde à diferença entre fluxo energético antes e após uma alteração do sistema energético (ex.: implementação das medidas de racionalização de energia), em %;
- ϕW_{ED} – Fluxo energético de Entrada Depois da alteração do sistema energético, em kWh, ou outra unidade de fluxo energético;
- ϕW_{EA} – Fluxo energético de Entrada Antes da alteração do sistema energético, em kWh, ou outra unidade de fluxo energético.

Como referido anteriormente a poupança pode ser medida com base na alteração da eficiência dos equipamentos de transformação de energia, substituindo a equação 3.39 em 3.40 teremos:

$$\Delta\phi W = \frac{\phi W_{UA}}{\eta_A} - \frac{\phi W_{UD}}{\eta_D} \quad (3.42)$$

Em que:

- $\Delta\phi W$ – Poupança energética em função da eficiência dos equipamentos, em kWh/%;
- ϕW_{UA} – Fluxo energético Útil Antes da implementação das medidas de racionalização de energia, em kWh;
- η_A – Eficiência do equipamento Antes da alteração do sistema energético, em %;
- ϕW_{UD} – Fluxo energético Útil Depois da alteração do sistema energético, em kWh;
- η_D – Eficiência do equipamento Depois da alteração do sistema energético, em %.

Se assumirmos que o fluxo energético útil for o mesmo para os equipamentos antes e depois a alteração do sistema, então a poupança energética poderá ser estimada pela equação (3.44).

$$\phi W_{UA} \cong \phi W_{UD} = \phi W_U \quad (3.43)$$

$$\Delta\phi W = \frac{\phi W_U(\eta_A - \eta_D)}{\eta_A \times \eta_D} \quad (3.44)$$

Em casos em que a condição 3.43 não se verifica, ou seja o fluxo energético útil antes e após não são iguais, então neste caso há uma alteração das condições de utilização podendo implicar alterações das condições de conforto. Nestes casos será necessário ter em conta indicadores de valorização da utilização, a discutir mais adiante.

O fluxo energético de consumo de entrada, antes da alteração do sistema ϕW_{EA} , pode ser um valor de referência ϕW_{ER} . Este valor de referência poderá ser obtido por um período de medição de referência na própria instalação (referência temporal própria ϕW_{ERt}) ou poderá ser obtido pela medição em instalações similares (referência sectorial ϕW_{ERs}). A referência temporal própria é usada sempre que sejam bem conhecidos os históricos de consumo da própria instalação. A referência sectorial é usada em casos em que se pretende medir a poupança relativamente a valores de referência do sector. Neste caso nas fórmulas (3.40 e 3.41) usa-se fluxo energético de entrada referência em vez de fluxo energético de entrada antes. Os fluxos energéticos de referência podem ser determinados com base nas características de consumo (ver secção 3.4.3.3).

3.3.2.3. Indicadores de poupança económica

Em contratos de desempenho energético é comum que as poupanças sejam avaliadas em valor monetário em vez de serem avaliadas em valor energético. O valor monetário da poupança pode ser obtido do valor energético multiplicado por um valor contratual da

energia. Outra possibilidade será assumir um valor contratual da poupança, este valor poderá estar associado a uma poupança na forma de energia ou a uma poupança percentual.

O indicador de poupança económica pode ser calculado pela seguinte equação:

$$\Delta PE = \phi W_{EA} \cdot V\phi W_{EA} - \phi W_{ED} \cdot V\phi W_{ED} \quad (3.45)$$

Em que:

- ΔPE – Poupança económica, em €;
- $\phi W_{EA} \phi W_{ED}$ – Fluxos energéticos **Antes** e **Depois** da alteração do sistema energético, em kWh;
- $V\phi W_{EA} V\phi W_{ED}$ – Valores de fluxo energético **Antes** e **Depois** da alteração do sistema energético, €/kWh.

Na modelação da equação 3.45 a valorização do fluxo energético está normalmente indexado ao custo da energia no mercado. No entanto em muitos contratos de desempenho energéticos existe um valor contratual do fluxo energético, nestes casos a poupança económica será estimada com uma equação semelhante à indicada do na equação 3.46:

$$\Delta PE = \Delta \phi W \cdot V\phi W \quad (3.46)$$

Em que:

- $\Delta \phi W$ – Poupança energética estimada pelas equações descritas anteriormente, em kWh;
- $V\phi W$ – Valor contratual da poupança energética que consta no contrato de desempenho energético €/kWh.

A poupança económica também pode ser uma função mais elaborada, com características descontínuas e não lineares e ainda calculada função de uma medição de poupança dimensional, a seguinte fórmula mostra um exemplo deste tipo de cálculo da poupança económica:

$$\Delta PE = fV(\Delta \phi W) \cdot \Delta \phi W \quad (3.47)$$

Em que:

- $\Delta \phi W$ – Poupança energética, em kWh ou % (equação 3.41);
- $fV(\Delta \phi W)$ – Função de valorização da poupança em que a poupança económica é função do valor percentual da poupança energética, em €/kWh, descrito por exemplo pela seguinte figura:

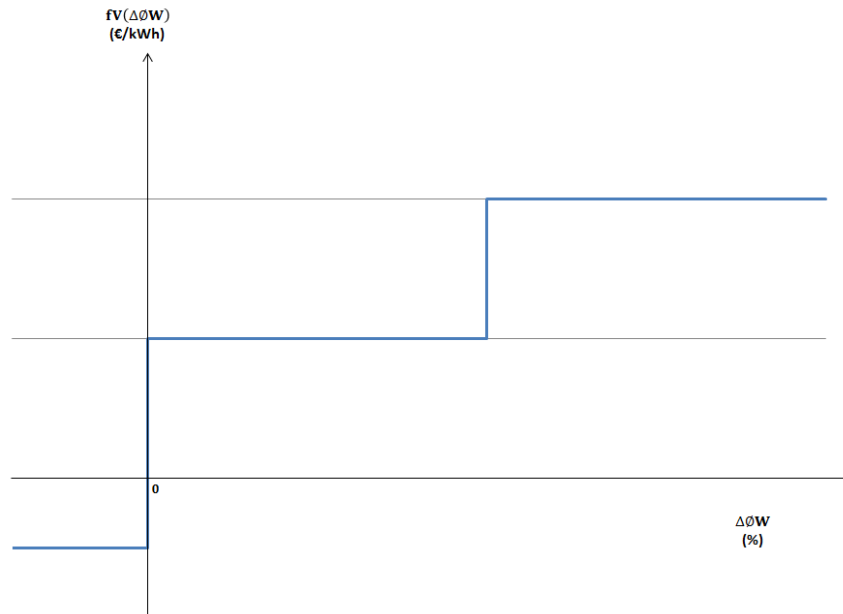


Figura 3.14 – Função valorização da poupança.

3.3.2.4. Indicadores de valorização de utilização

O fluxo energético utilizado poderá ter diferentes valores, dependendo a qualidade do serviço energético, ou do instante, que este fluxo energético é utilizado. A valorização é especificada por e para um determinado conjunto de utilizadores que geralmente são os responsáveis da instalação. A valorização da utilização poderá ser de utilidade quando se pretende medir alterações na característica de conforto resultante da aplicação de medidas de racionalização de energia, no âmbito de contratos de desempenho energético.

De uma forma genérica os indicadores de valorização podem ser calculados pela seguinte equação:

$$VU = \frac{1}{T} \sum VUf_t(Q\phi W_U) \quad (3.48)$$

Em que:

- VU – Valor elementar da utilização num determinado intervalo de tempo $[0, T]$, em €/kWh ou € por outro tipo de medida utilização de fluxo energético (ex.: medida de calor, medida de luminosidade, etc.);
- $VUf_t(Q\phi W_U)$ – Valor função para uma determinado fluxo energético utilizado no instante t , que poderá ser especificado por um gráfico ou tabela, será expresso em valor por unidade de fluxo energético útil.

Em casos em que o fluxo energético útil antes e após a implementação de uma medida não são iguais, não se verificando a equação 3.43, existe uma alteração da valorização da utilização. Também quando existe uma transferência temporal de consumo, por ações de medidas de gestão de consumo, poderá haver alteração da valorização, consequência de diferentes valores do fluxo a diferentes horas. Nestes casos poderá ser necessária a utilização

de indicadores alteração da valorização da utilização, que podem ser calculados pela seguinte equação:

$$\Delta VU = \phi W_{UA} \times VU_A - \phi W_{UD} \times VU_D \quad , \quad (3.49)$$

Em que:

- ΔVU – Variação da valorização da utilização, em €;
- $\phi W_{UA} \phi W_{UD}$ – Fluxos energéticos úteis Antes e Depois da alteração do sistema energético, em kWh ou outras unidades de fluxo útil;
- $VU_A VU_D$ – Valorização da utilização do fluxo útil Antes e Depois da alteração do sistema energético, em € por unidade de fluxo útil.

3.4. Caracterização de modelos

No Plano M&V deverão ser descritos detalhadamente os modelos utilizados. Um modelo poderá ser uma fórmula matemática ou um método matemático que tem como objectivo a obtenção de uma medida indirecta, uma base de conhecimento de referência, um ajuste das medidas e indicadores, uma característica de consumo ou uma estimativa de poupança.

3.4.1. Modelos de conversões energéticas de unidades

Como cada forma de energia difere quanto à sua grandeza de medição, poderá ser necessário estabelecer conversões energéticas que permitam uma unicidade de medição do consumo.

Para este tipo de modelos o Plano M&V deve especificar a equação usada na conversão, em que são especificadas as grandezas a converter (G_c) e a grandeza resultante (G_r), bem como as suas unidades e as constantes de conversão (K). A equação que permite descrever estes modelos, é em função das grandezas já enunciados e será do tipo:

$$G_r = F(K \cdot G_c) \quad (3.50)$$

Em que:

- G_r – Grandeza a resultante;
- G_c – Grandeza a converter;
- K – Constante de conversão.

Por exemplo, se uma instalação consumir um combustível (gás natural) para o aquecimento de águas sanitárias e energia eléctrica para os restantes equipamentos electrónicos, a forma de obter a energia total fornecida seria através da seguinte equação:

$$E_{fornecida} = (Q_{combustivel} \cdot K_1) + (E_{el} \cdot K_2) \quad (3.51)$$

Em que:

- $E_{fornecida}$ – Energia total fornecida, em tep;
- $Q_{combustivel}$ – Quantidade de combustível consumido no sistema aquecimento de águas, durante um ano, em l (litro);
- K_1 – Coeficiente de conversão de energia de combustível, em tep/l;
- E_{el} – Energia eléctrica consumida por todos os sistemas, durante um ano, em kWh;
- K_2 – Coeficiente de conversão de energia eléctrica, em tep/kWh.

3.4.2. Modelos de agregações de consumo

Os modelos do tipo agregações consistem no somatório de várias fracções de consumo de energia numa instalação, podendo corresponder a diferentes formas de energia. Caso existam diferentes formas de energia a agregação deve ser precedida de uma conversão energética de unidades, apresentada anteriormente. As agregações são necessárias quando existem várias unidades de medição e se pretende apenas o valor agregado destas medições.

Podem existir casos de agregações especiais, como por exemplo a agregação dos consumos de um edifício, em que há diferentes formas de energia (ex.: calor, electricidade, etc.) ou em que há múltiplas fracções medidas para o mesmo tipo de energia (ex.: medição do consumo de electricidade em múltiplos andares).

Também podem existir casos de agregações temporais, em que temos medidas de energia para intervalos mais apertados (ex.: 15 min) e pretendemos medidas para intervalos abrangentes (ex.: um mês).

Para este tipo de modelo de agregação deve especificar-se a equação usada na agregação, em que são especificadas as grandezas a agregar ($G_{i,t}$) e a grandeza agregada (G_T), bem como as suas unidades. A descrição da equação será uma função do tipo:

$$G_T = F(G_{i,t}) \quad (3.52)$$

Em que:

- G_T – Grandeza agregada;
- $G_{i,t}$ – Grandeza i a agregar no período t .

Por exemplo, numa instalação poderá ser necessário determinar qual o consumo energético anual, atendendo apenas a uma ou várias formas de energia. Para a energia eléctrica (E_e) utilizada na instalação, recolheram-se os dados relativamente ao consumo de uso geral (iluminação e tomadas) e do consumo de energia eléctrica do sistema AVAC (E_{el}). Ambas as medições foram realizadas em intervalos de 15 minutos diários (considerando 1 dia

- 24 horas, ou seja, as unidades de medição estão em funcionamento permanente), sendo a equação que traduz o consumo anual:

$$\text{Consumo}_{\text{energético anual}} = \sum_{t=1}^{365 \text{ dias}} (\sum_{i=1}^{96} E_{e i} + \sum_{j=1}^{96} E_{el j}) \quad (3.53)$$

Em que:

- $\text{Consumo}_{\text{energético anual}}$ – Consumo obtido ao fim de um ano após as agregações das formas de energia, em kWh/ano;
- E_e – Energia eléctrica total consumida e medida no instante i , em kWh;
- E_{el} – Energia eléctrica do sistema AVAC consumida e medida no instante j , em kWh.

A equação (3.53) é descrita pelo somatório da energia eléctrica geral consumida que neste caso são realizadas 96 medições diariamente com 15 minutos de intervalo, por um somatório de energia eléctrica do sistema AVAC consumida com as mesmas características e pelo somatório global que permite agregar as duas formas de energia por dias ao longo de 1 ano.

3.4.3. Modelos de referência

Os modelos de referência (ou modelos de *baseline*) são modelos que armazenam a base de conhecimento com a característica de consumos da instalação. Estes modelos não representam apenas uma forma de transformação de informação mas sim uma forma de armazenamento de informação sobre o padrão de consumo. Os modelos de referência podem ser característicos de consumo relativamente ao histórico de consumo da instalação ou podem ser características de consumo de um conjunto de instalações de um mesmo tipo. Os modelos de referência representam informação de referência em relação à qual se mede o desempenho da eficiência.

3.4.3.1. Indicadores de consumo como referência

São indicadores de consumo com valores específicos típicos. Neste caso teremos um valor ou vários valores de referência recolhido por análise estatística de valores históricos desse indicador na instalação ou em instalações semelhantes. Exemplos destes indicadores já foram discutidos anteriormente, podendo ser:

- Consumo por área;
- Consumo por produção;
- Consumo por ocupação;
- Consumo por tempo de utilização;
- Consumo por ciclo de utilização;
- Consumo por unidade de utilização;
- Consumo por produtividade económica.

3.4.3.2. Padrões de consumo tabelados

Os modelos de referência poderão ter detalhes sobre o padrão de consumo de referência. Este tipo de representação pode ser conseguido por uma caracterização detalhada de uma série de consumos típica.

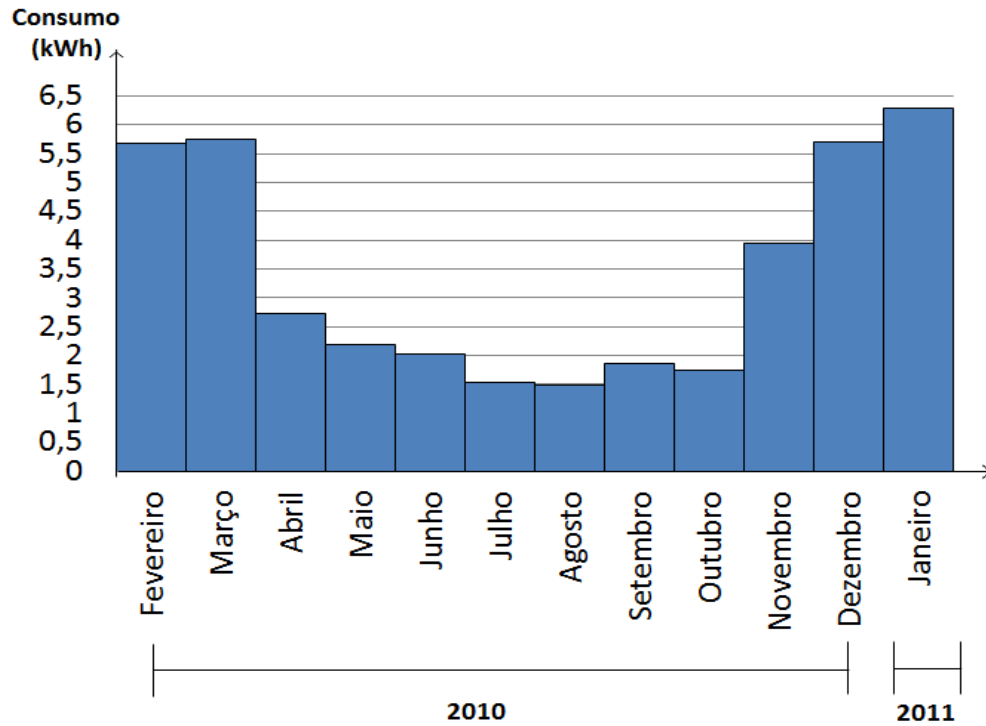


Figura 3.15 – Série de consumo mensal.

Também pode ser representada por uma forma tabelada em casos em que é necessário mais detalhe.

Tabela 3.17 – Média do consumo horário por dia da semana no ano 2010, em kWh

Hora\Dia	Domingo	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	Sábado
00:00	0,806213	0,808768	0,886855	0,84942	0,840147	0,847586	0,858364
01:00	0,798684	0,809311	0,896245	0,842309	0,844609	0,854506	0,853402
02:00	0,799625	0,807114	0,899845	0,864401	0,84786	0,852153	0,858907
03:00	0,798492	0,810751	0,886507	0,844636	0,843999	0,853125	0,854687
04:00	0,803708	0,807751	0,892897	0,813833	0,839773	0,85092	0,858972
05:00	0,800278	0,811819	0,882916	0,816534	0,847253	0,849198	0,855216
06:00	0,804884	0,822978	0,928964	0,832848	0,87634	0,853417	0,856247
07:00	0,80027	0,906426	0,955333	0,882135	0,902114	0,92722	0,854168
08:00	0,799795	1,159649	1,12209	1,024444	1,03505	1,130184	0,854512
09:00	0,801567	1,924633	1,918879	1,782207	1,790585	1,964776	0,880385
10:00	0,796211	2,131301	2,021777	2,035699	1,973348	2,058262	1,320106
11:00	0,804793	2,077356	1,983446	2,007561	1,999656	2,104853	1,441892
12:00	0,802866	1,896421	1,838231	1,870085	1,833959	1,892679	1,418945
13:00	0,804241	1,686051	1,60665	1,650921	1,61274	1,668106	1,326539
14:00	0,816992	2,193518	2,148348	2,150001	2,152502	2,286797	1,355663
15:00	0,81847	2,327548	2,141813	2,178347	2,16837	2,353514	1,30478
16:00	0,822686	2,211329	2,178579	2,225082	2,252624	2,40563	1,319118
17:00	0,823913	1,954623	1,863183	1,849903	1,911787	2,060434	1,287081
18:00	0,816524	1,571351	1,501018	1,533162	1,561768	1,580054	1,145815
19:00	0,801835	1,314876	1,170736	1,216927	1,238895	1,240886	0,86993
20:00	0,805568	0,901642	0,854687	0,857333	0,869923	0,896531	0,828469
21:00	0,798413	0,88606	0,970405	0,877787	0,883969	0,975416	0,824372
22:00	0,80322	0,894127	0,982432	0,872724	0,860998	1,002915	0,837914
23:00	0,799194	0,855293	0,892797	0,85007	0,841843	0,961012	0,833726

Se o detalhe de desagregação for grande, o número de tabelas para os diferentes casos poderá ser muito numeroso dificultando a representação no Plano M&V. O Plano M&V poderá incluir um anexo com esta representação dos padrões de consumo.

3.4.3.3. Característica de consumo

Uma forma genérica de representar modelos de referência será usar a característica de consumo. A característica de consumo consiste numa representação de uma equação de

consumo função das diversas variáveis que influenciam esse consumo. Esta característica pode ser não linear, composta por segmentos descontínuos e multidimensional. A representação é geralmente paramétrica, baseada em funções polinomiais, exponenciais, logarítmicas, ou outras que se adequem ao conjunto de casos históricos. A característica deverá cobrir todo o espaço de casos de consumo que possa ocorrer no futuro para todo o espaço de variáveis de influência desse consumo.

Por exemplo, uma instalação tem dois métodos de processo produtivo de um tipo de material onde os níveis de produção são apresentados a seguir na figura 3.16:

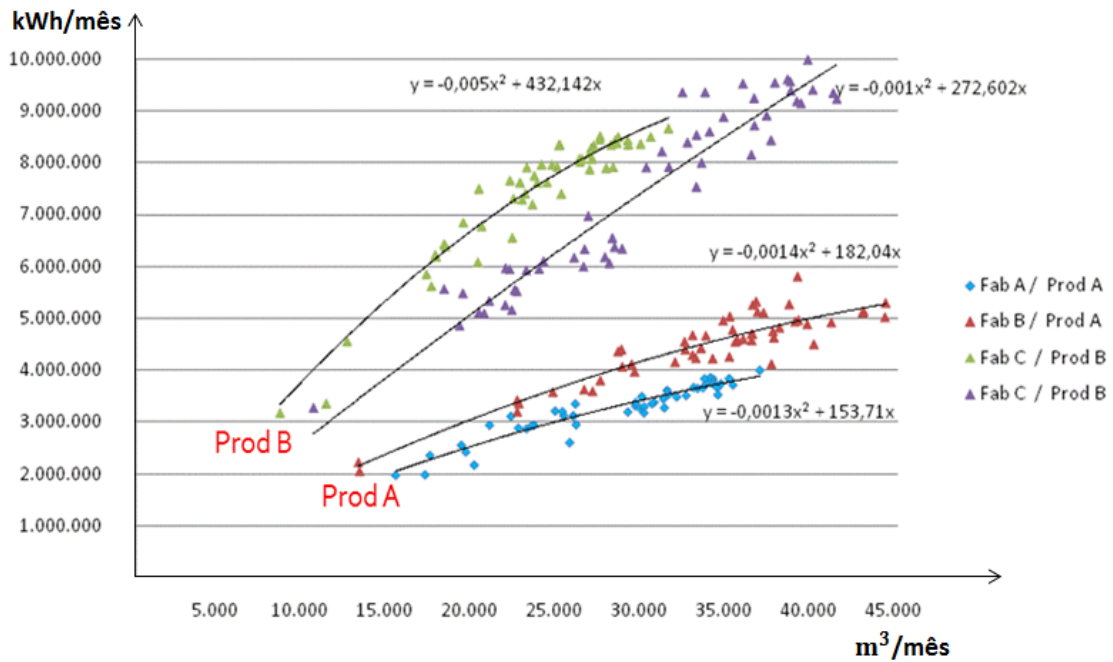


Figura 3.16 – Consumo mensal (kWh/mês) necessário aos níveis de produção mensal ($m^3/mês$) A ou B.

É importante descrever como foi obtida a característica de consumo. Por exemplo a característica de consumo mensal é diferente da característica de consumo diário.

Em casos de grande complexidade dos modelos é possível usar modelos não paramétricos para armazenar a característica de consumo. Por exemplo uma rede neuronal treinada com o histórico de consumo poderá captar a característica de consumo, no entanto será de difícil compreensão a sua representação formal no documento do Plano M&V.

3.4.3.4. Representação da incerteza

Os modelos de referência devem, sempre que possível, representar a incerteza associada à referência. Qualquer modelo de incerteza tem uma margem de precisão, a estimativa da poupança depende da incerteza no consumo de referência e da incerteza no consumo efectivamente medido.

A incerteza pode ser modelizada por:

- Representação probabilística: parâmetros de uma distribuição de probabilidade;

- Representação intervalar: em que um intervalo representa a gama dos valores de referência;
- Representação difusa: em que a incerteza possibilista é representada por um n° difuso;
- Representação por quantis: em que a incerteza é representada por intervalos quantificadores do número de casos.

A representação da incerteza acarreta complexidade na representação e análise da informação. A sua utilização implica que poderemos propagar a análise da incerteza no cálculo das poupanças obtendo representação de incerteza nessas poupanças. Poupanças com incerteza permitem a análise de risco e processos de decisão mais ponderados. No entanto a análise de incerteza apenas será útil se houver agentes de decisão que utilizem a análise de risco.

3.4.4. Modelos de ajuste

Os modelos de ajuste têm como objectivo separar os efeitos e variáveis, não controláveis, que influenciam o valor final das poupanças e que não são da responsabilidade directa da ESE nem das medidas de racionalização implementadas. Por princípio, a medição da poupança deverá ser unicamente resultado da influência das medidas de racionalização implementadas. Existem dois tipos de ajustes que, no âmbito do IPMVP são designados por: ajustes de não-rotina e ajustes de rotina. Respeitaremos esta classificação, embora com uma desagregação mais detalhada dentro de cada um dos tipos de ajuste.

O resultado final das poupanças energéticas poderá ser afectado por um conjunto de factores que estão fora do controlo da ESE, pelo que a ESE não deverá ser responsabilizada por elas. Alguns factores também não são responsabilidade do gestor ou responsável da instalação, como por exemplo o preço de energia ou situação macroeconómica, mas geralmente é um risco associado à sua própria actividade. Alguns dos factores de influência, que devem ser isolados por via de ajuste, são:

- Alterações nas instalações e equipamentos a elas afectos, que resulta na alteração dentro da fronteira de utilização;
- Alterações nos comportamentos de utilização ou produtividade da instalação, da responsabilidade do gestor de instalação e seus utilizadores, resultando também em alterações dentro da fronteira de utilização;
- Alterações macroeconómicas;
- Alterações de preços de energia.

Segundo o IPMVP, este primeiro tipo de ajustes são designados por ajustes de não-rotina. São usados para compensar alterações inesperadas nos factores de utilização da energia, tais como a dimensão da instalação, tipo de utilização e horas de funcionamento. Estes factores devem ser monitorizados de forma a garantir a não distorção da medição e o desempenho da “medida de racionalização de energia”. A determinação destes factores é uma das questões mais importantes nos projectos de eficiência que utilizam as abordagens pelas opções C e D

do IPMVP. A abordagem pela opção A evita este tipo de ajustes onde muitos destes factores são meramente estimados. Se forem previstas eventuais alterações ao projecto de eficiência, então deverá ser definido no Plano M&V este tipo de modelos de ajuste de não-rotina.

Existem outros tipos de ajuste, no IPMVP designados por ajustes de rotina, cujo objectivo é ultrapassar dificuldades nos processos de medição. Para reduzir custos na medição é comum utilizar menos unidades de medição que o necessário ou fazer medições descontínuas baseadas em amostragem, ou ainda usar processos de medição indirectos. Algumas das causas deste tipo que é necessário ajustar são:

- Ajuste de fronteira de medição;
- Ajuste de consistência entre fronteira de medição e de utilização;
- Ajuste devido a medição descontínua;
- Ajuste devido a medição indirecta;
- Ajustes relativos a referências das variáveis de estado.

Os ajustes de rotina são realizados através das variáveis de estado (variáveis medidas no interior da fronteira de utilização) e variáveis de envolvente (variáveis exteriores à fronteira de utilização). Para ser um ajuste de rotina as variáveis referidas são medidas continuamente originando num ajuste contínuo do consumo.

3.4.4.1. Modelos de ajuste de alterações da fronteira de utilização

Este tipo de ajuste é um ajuste de não rotina. Tem como objectivo isolar causas de distorção de medição da poupança devida a alteração:

- Número, rendimento e potência de equipamentos de consumo no interior da fronteira de utilização, e também padrão de utilização dos equipamentos;
- Alteração de comportamentos de utilização, tais como: número de horas de utilização, ocupação de espaço, etc.;
- Alteração física (ex.: área ou volume) dos espaços de utilização.

As características de referência da fronteira de utilização estão definidas no plano de medição em tabelas e plantas (ver secção 3.1.2). Da mesma forma, nesta secção, estão definidos os modelos e procedimentos de ajuste a utilizar quando se detectem alterações nestas definições de referência. Os procedimentos de ajuste serão activados logo que sejam detectadas alterações na fronteira de utilização. O procedimento de ajuste a activar será o indicado no Plano M&V para o caso específico de alteração detectado.

O modelo de ajuste de fronteira de utilização implica alterações no consumo de referência (*baseline*). A alteração deverá ter em conta o procedimento de definição do consumo de referência (ver secção 3.4.3.1).

- Se o consumo de referência é baseado em indicadores (ex.: consumo por área, consumo por ocupação, consumo por produção, etc.) bastará fazer um ajuste

proporcional na variável de utilização (ex.: área, ocupação, produção, etc.). Para tal é necessário que estas variáveis estejam definidas para os valores de referência;

- Se o consumo de referência é baseado em padrões ou valores tabelados (ex.: padrão semanal ou mensal de consumo), será necessário um novo procedimento de medição para identificar e caracterizar os novos padrões de consumo;
- Se o consumo de referência for baseado em características de consumo (ver secção 3.4.3.3), será necessário uma nova campanha de medição, análise e construção da característica de consumo para a nova situação de fronteira de medição.

3.4.4.2. Modelos de ajuste de variáveis de envolvente

As variáveis de envolvente (ex.: preços de energia, taxas de juros, impostos, condições climáticas, etc.), externas à fronteira de medição e fora do controlo da ESE ou do gestor da instalação, são especificadas no Plano M&V como valores de referência (ver secção 3.2.3). Neste caso, de alteração das variáveis de envolvente, haverá impacto sobre as poupanças e sobre o retorno económico das medidas de racionalização energética (MRE) implementadas. Assim, o ajuste deve ser realizado sobre a estimativa das poupanças, em alguns casos sobre as poupanças energéticas (ex.: alterações climáticas ou de envolvente da instalação) e em outros casos sobre as poupanças económicas (ex.: retorno das MRE, preço da energia, etc.).

Os valores de referência das variáveis de envolvente deverão estar definidos no Plano M&V bem com as condições para as quais estes valores de referência foram definidos (ver secção 3.2.3). Sempre que sejam detectadas alterações nestas condições deverá ser ajustada a poupança para os novos valores de referência das variáveis. O procedimento de ajuste segue os procedimentos e modelos usados nos modelos estimativa de desempenho (ver secção 3.4.5).

3.4.4.3. Modelos de ajuste de alterações da fronteira de medição

A fronteira de medição é definida pela localização das unidades de medição. As características destas unidades de medição estão definidas, na forma de tabelas e esquemas de princípio (ver secção 3.1.1). É importante para a coerência do processo de medição que estas características da fronteira de medição se mantenham antes (período de referência) e após (período de reporte) a implementação das MRE. Quando tal não é possível será imprescindível proceder a um ajuste de alteração da fronteira de medição. A alteração poderá ser dos seguintes tipos:

- Alteração no equipamento de medição;
- Alteração da localização do equipamento de medição;
- Alterações na configuração dos circuitos de fluxo energético.

Quando a alteração da fronteira de medição implica alteração da fronteira de utilização, caso de alteração da localização dos equipamentos de medição, será necessário proceder

ajustes já descritos (ver secção 3.4.4.1). Neste caso à uma alteração nas escalas do consumo de referência (*baseline*).

Quando a alteração está relacionada com a precisão da unidade de medição, então o ajuste deve ser realizado no padrão de incerteza do consumo de referência (*baseline*), isto para os casos em que a incerteza é considerada no Plano M&V.

No caso de alterações nos circuitos de fluxo energético, tal poderá implicar novas unidades de medição e consequentemente alterações nos procedimentos de medição a estimativa do consumo no período de reporte. O consumo no período de referência é alterado caso as alterações dos circuitos de fluxo implique alterações na fronteira de utilização.

3.4.4.4. Modelos de ajuste de consistência entre fronteira de utilização e fronteira de medição

Em muitos casos não é possível fazer coincidir a fronteira de medição e a fronteira de utilização. Isto poderá acontecer pelas seguintes razões:

- Impossibilidade física de delimitar a fronteira de utilização e os equipamentos nelas existentes, nestes casos a fronteira de utilização é muito mais ampla que a fronteira de medição e como consequência mede-se mais energia que a contratualizada.
- Redução dos custos da medição, o que implica uma insuficiente delimitação da fronteira de medição, medindo um valor de fluxo energético diferente do valor de energia utilizado.
- Impossibilidade de medir as perdas do sistema, neste caso a fronteira de medição inclui as perdas mas estas são excluídas da fronteira de utilização, isto poderá ser problemático em contratos orientados ao uso final da energia em vez de orientados ao fluxo energético.

Este tipo de ajuste deverá está previsto nos modelos de medição e estimativa dos consumos de referência. Na verdade os mesmos modelos de ajuste devem ser aplicados tanto no período de referência como no período de reporte.

Estes modelos de ajuste são criados por regressão entre as variáveis de fluxo medidas nas unidades de medição e as variáveis de estado associadas à utilização. Por exemplo a relação entre a medição energética global de um edifício (fronteira de medição) e o valor consumido num dos andares do edifício (fronteira de utilização), representado na figura 3.17.

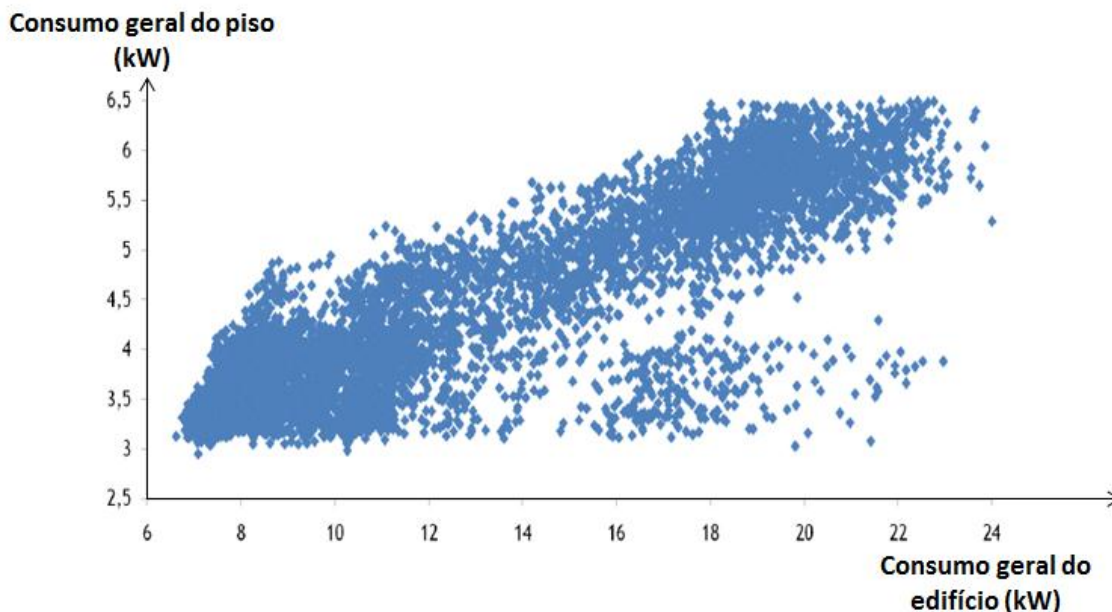


Figura 3.17 – Correlação entre variáveis do consumo parcial (ex.: um piso) com o consumo global do edifício.

Este tipo de ajuste também pode ser interpretado como ajuste resultante de um processo de verificação indirecta. Nestes casos, a medição pode ser contínua ou descontínua. Na medição contínua as unidades de medição são permanentes e na medição descontínua elas são colocadas durante o período de reporte para verificação da poupança.

3.4.4.5. Modelos de ajuste devido a medição contínua

Por razões associadas a redução de custo da M&V, é usual optar por procedimentos de verificação com base em medições descontínuas. Nestes casos, no período de referência a medição é contínua, mas no período de reporte a medição para verificação só é realizada esporadicamente por amostragem, programada ou não, dependendo dos critérios definidos no Plano M&V.

Com a medição contínua no período de referência são construídos modelos de regressão entre os consumos contínuos, períodos mais alargados (ex.: consumo mensal), e as amostragens de consumos periódicos mais restritos (ex.: consumo da 2ª Quarta-feira de cada mês), representado na figura 3.18.

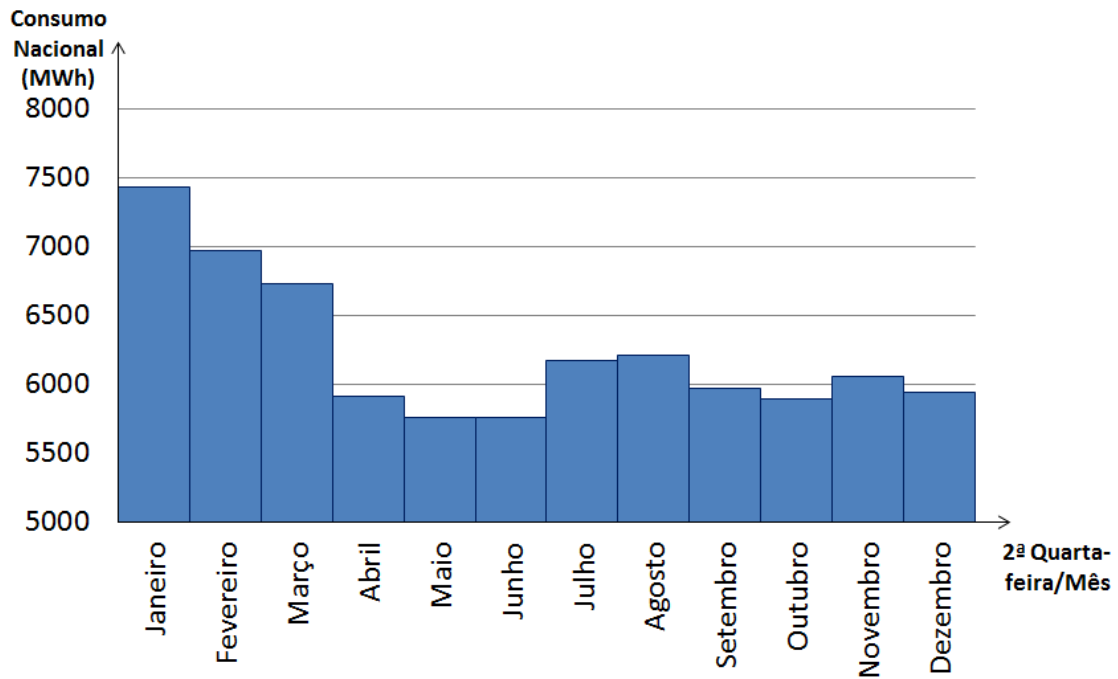


Figura 3.18 – Consumo nacional de cada segunda Quarta-feira de cada mês.

Estes modelos de ajuste são aplicados no período de reporte para estimar e verificar as poupanças energéticas.

3.4.4.6. Modelos de ajuste relativos a referências de variáveis de estado

Nos casos em que a avaliação da poupança é feita com base nas medidas de utilização da energia e não com base nas medidas de fluxo energético, será necessário criar modelos de ajuste que relacionam as variáveis de estado (variáveis de utilização) com as variáveis de fluxo (variáveis de consumo). Também poderá ser necessário criar modelos de ajuste do consumo função de variáveis de influência desse mesmo consumo, representadas por variáveis de estado associadas ao conforto. Por exemplo o consumo poderá variar com a temperatura ambiente, tal como mostra a figura 3.19. Neste exemplo a variável de estado é a temperatura ambiente e a variável de fluxo é o consumo.

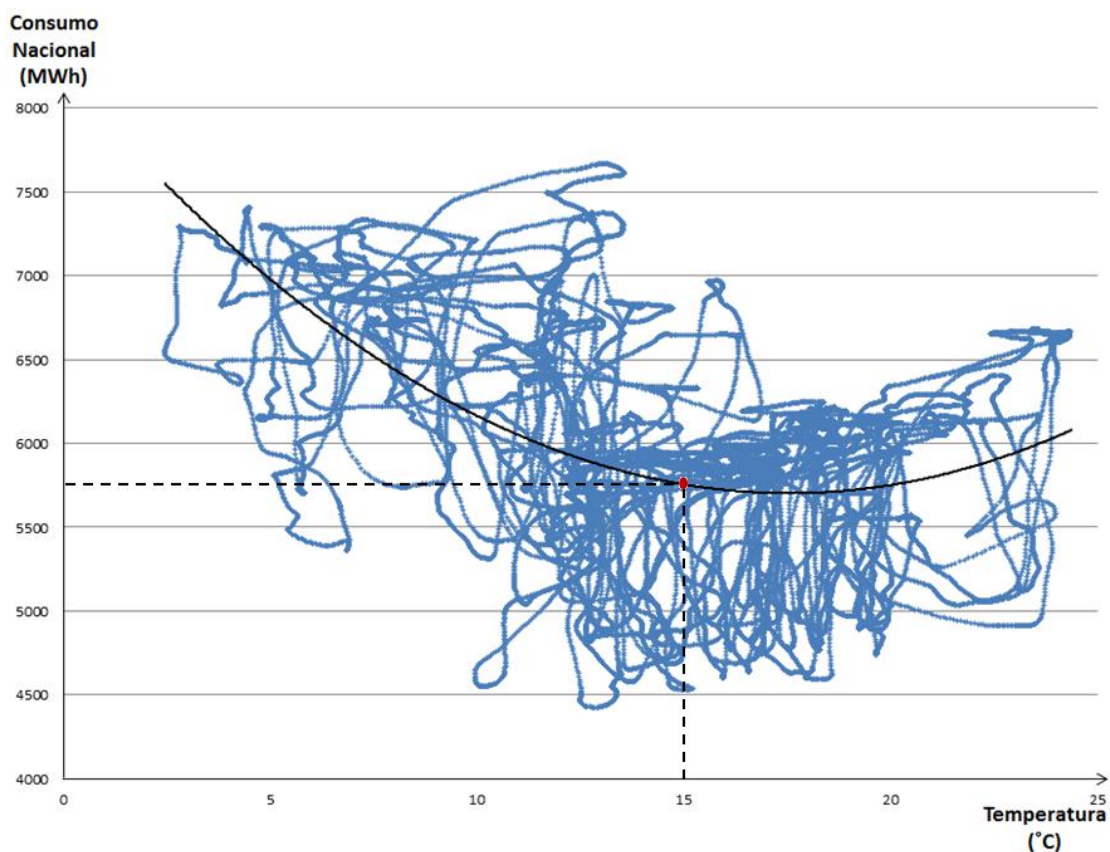


Figura 3.19 – Evolução do consumo nacional com as variações de temperatura ambiente.

Com a seguinte equação da curva característica em função da temperatura (T):

$$CT(T) = 8,1126 \cdot T^2 - 284,72 \cdot T + 8200,2 \quad (3.54)$$

Em que:

- $CT(T)$ – Consumo nacional, em MWh;
- T – Temperatura em °C.

Estes modelos de ajuste são criados no período de referência usando medidas sincronizadas das variáveis de fluxo e variáveis de estado. O consumo de referência (*baseline*) é normalizado para um valor de referência das variáveis de estado. No exemplo anterior (ver figura 3.19) pode ser calculado o valor normalizado de consumo para uma influência de temperatura em função do tempo com a seguinte equação:

$$BN_{ref} = \frac{BR_{ref}}{IT(T(t))} \quad (3.55)$$

Em que:

- BN_{ref} – Baseline normalizado no período de referência;
- BR_{ref} – Baseline real do período de referência;
- $IT(T(t))$ – Influência da temperatura em função do tempo.

Onde a influência da temperatura é o quociente entre o consumo nacional (CT) e o consumo de referência a uma temperatura de referência (CT(15°C)), ambos calculados pela equação 3.54:

$$IT(T(t)) = \frac{CT(T)}{CT(15^\circ C)} \quad (3.56)$$

No período de reporte existem duas abordagens diferentes de verificar as poupanças (ver figura 3.20). A primeira (A) consiste em desnormalizar o *baseline* aplicado no período de reporte e comparar os consumos e a poupança.

A desnormalização do consumo com base na temperatura será o inverso da equação 3.55. No caso A, a poupança real é calculada por:

$$\Delta PR(t, T) = MR_{rep}(t, T) - BD_{rep}(t, T) \quad (3.57)$$

Em que:

- $\Delta PR(t, T)$ – Poupança real em função da temperatura e do tempo;
- $MR_{rep}(t, T)$ – Medição real no período de reporte em função da temperatura e do tempo;
- $BD_{rep}(t, T)$ – Baseline desnormalizado no período de reporte em função da temperatura e do tempo.

A segunda abordagem (B) consiste em normalizar os valores de consumo medidos no período de reporte e comparar com o *baseline* normalizado aplicado no período de reporte.

Sendo estimado por:

$$MN_{REP}(t) = \frac{MR_{REP}(t, T)}{IT(T(t))} \quad (3.58)$$

A poupança normalizada será calculada pela seguinte equação:

$$\Delta PN(t, T) = MN_{rep}(t, T) - BN_{rep}(t, T) \quad (3.59)$$

Em que:

- $\Delta PN(t, T)$ – Poupança normalizada em função da temperatura e do tempo;
- $MN_{rep}(t, T)$ – Medição normalizada no período de reporte em função da temperatura e do tempo;
- $BN_{rep}(t, T)$ – Baseline normalizado no período de reporte em função da temperatura e do tempo.

Na figura 3.20 é apresentado o modelo de normalização de consumo.

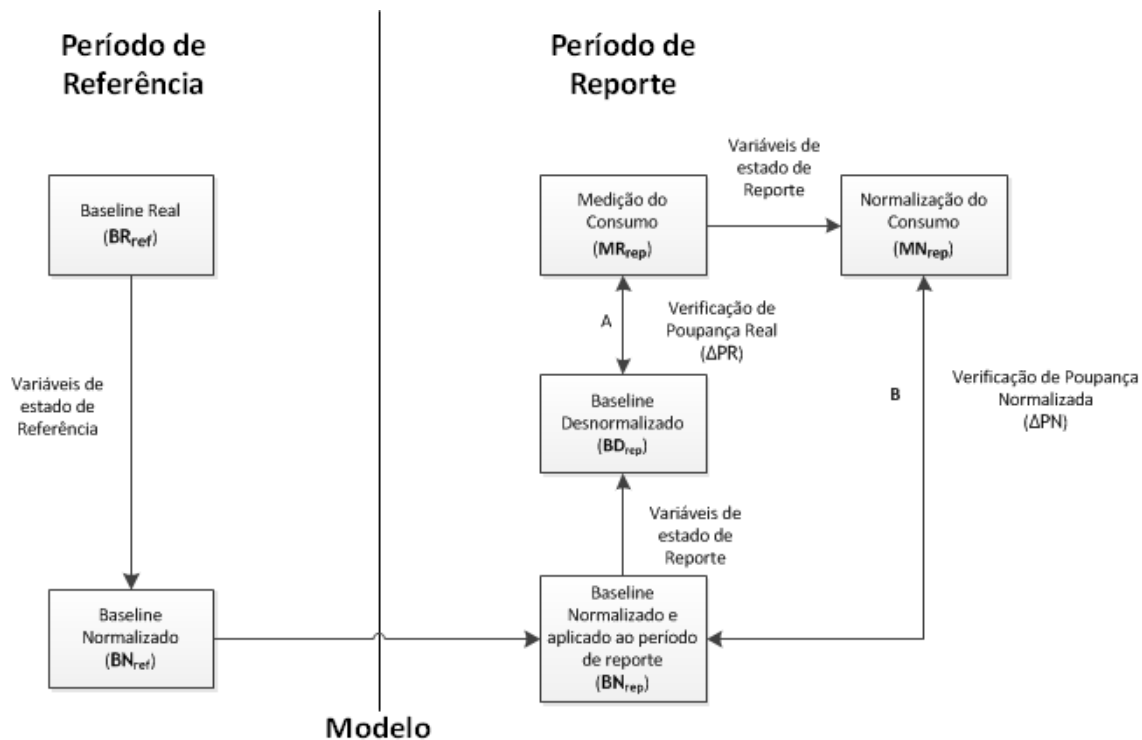


Figura 3.20 – Modelo de normalização de consumo.

3.4.5. Modelos de desempenho

Os modelos de desempenho são modelos cujo objectivo é estimar as poupanças com base em medidas e em valores de referência. Tanto as medidas como os valores de referência podem estar sujeitos a ajustes prévios. Os ajustes são realizados para garantir que os valores de consumo antes e após a implementação das MRE possam ser comparáveis.

Poderemos ter vários tipos de modelos de desempenho, ou modelos de estimativa de poupanças. A estimativa das poupanças pode ser realizada usando como **consumo de referência** o consumo da própria instalação (medido ou estimado) ou em alternativa o consumo de instalações típicas do mesmo tipo (medido). O consumo após a implementação da MRE, que é o consumo no período de reporte, deverá ser medido ou estimado na própria instalação.

As abordagens de M&V são classificadas segundo 6 tipos apresentados na tabela 3.18. Os vários tipos diferem na forma como o consumo é medido ou estimado, no período de referência e no período de reporte. Para além desta diferença, também podem diferir quanto a medir o consumo na própria instalação ou em instalações típicas, no período de referência. Os consumos de referência em instalações típicas deverão ser obtidos por estatísticas de medições e não por estatísticas de estimativas. No período de reporte os consumos deverão ser medidos ou estimados para a própria instalação não fazendo sentido ser obtida para instalações típicas.

Tabela 3.18 – Classificação de consumos

	Opção	Ordem Precisão	Ordem Custo	Consumo Período de Referência	Consumo Período de Reporte
Consumos de referência nas próprias instalações	MM _p	1	1	Medido	Medido
	ME _p	4	4	Medido	Estimado
	EM _p	2	3	Estimado	Medido
	EE _p	6	6	Estimado	Estimado
Consumos de referência em instalações similares	MM _T	3	2	Medido	Medido
	ME _T	5	5	Medido	Estimado

A escolha do modelo de desempenho deverá ser baseada numa relação entre precisão e custo. Na tabela 3.18 as opções foram ordenadas por nível de precisão e custo, sendo a opção com maior precisão o MM_p e a de menor precisão EE_p. Obviamente que em relação ao custo, quanto maior for o nível de precisão exigido, mais dispendioso será o modelo de desempenho. Assim, será novamente a opção MM_p de maior custo e a EE_p de menor custo.

Para os efeitos da classificação da tabela consideram-se **Consumos Medidos** os registos obtidos directamente por unidades de medição. Poderá haver modelos de ajustes sobre estas medidas, de diversos tipos, que implica uma correcção de uma ou várias medições de variável de fluxo.

Consideram-se **Consumos Estimados** os registos de consumo obtidos por simulação, não existindo medições directas. Também podem ser obtidos por conversão indirecta de outras medidas de variáveis de estado em variáveis de fluxo.

A opção de medição deverá ser especificada no início do Plano M&V. Para cada opção será de esperar uma configuração própria de procedimentos e metodologia, equipamentos e modelos a seguir que deverão estar especificados no Plano M&V. Assim, a especificação da opção de M&V serve como base de controlo de coerência do plano de medição.

3.4.5.1. Opção MM_p

Consiste num processo de medição de desempenho de M&V em que o consumo de referência e de reporte são ambos medidos, na própria instalação. Poderá haver ajustes tanto nas medições de fluxo de referência como nas medições de fluxo do período de reporte. Poderão para tal ser usados qualquer tipo de modelos de ajustes descritos anteriormente (ver secção 3.4.4).

Para este tipo de Opção M&V espera-se no Plano M&V a especificação de:

- Definição do circuito energético de fluxo, antes e após a implementação da MRE;
- Unidades de medição de fluxo, antes e após a implementação da MRE;
- Modelos de ajuste do consumo, antes e após a implementação da MRE,
- Modelo do cálculo da poupança energética.

O cálculo da poupança energética será realizado com base em **Indicadores de poupança energética** (ver secção 3.3.2.2). Estes indicadores simplesmente calculam a diferença entre os valores ajustados das medições de consumo, antes e após a implementação das medidas. Estes valores poderão ser expressos em unidades de fluxo energético (ver equação 3.40) ou como uma percentagem desta diferença relativamente ao consumo antes da implementação da medida (ver equação 3.41). Poderá também optar-se por calcular a poupança económica (ver secção 3.3.2.3) ou outro tipo de valorização da poupança (ver secção 3.3.2.4), usando os métodos referidos anteriormente.

Um exemplo de processo mais completo de modelo de desempenho energético poderá ser construído com base nas características de consumo (ver secção 3.4.3.3) antes e após a implementação das medidas. O seguinte exemplo mostra um caso de cálculo de desempenho para diversos anos de produção de uma fábrica de produtos derivados da madeira. A característica de consumo (ver secção 3.4.3.3) foi construída com base na relação entre consumo eléctrico (kWh) e volume de produção de produto (m³). Cada ponto representa o par consumo/produção em cada mês.

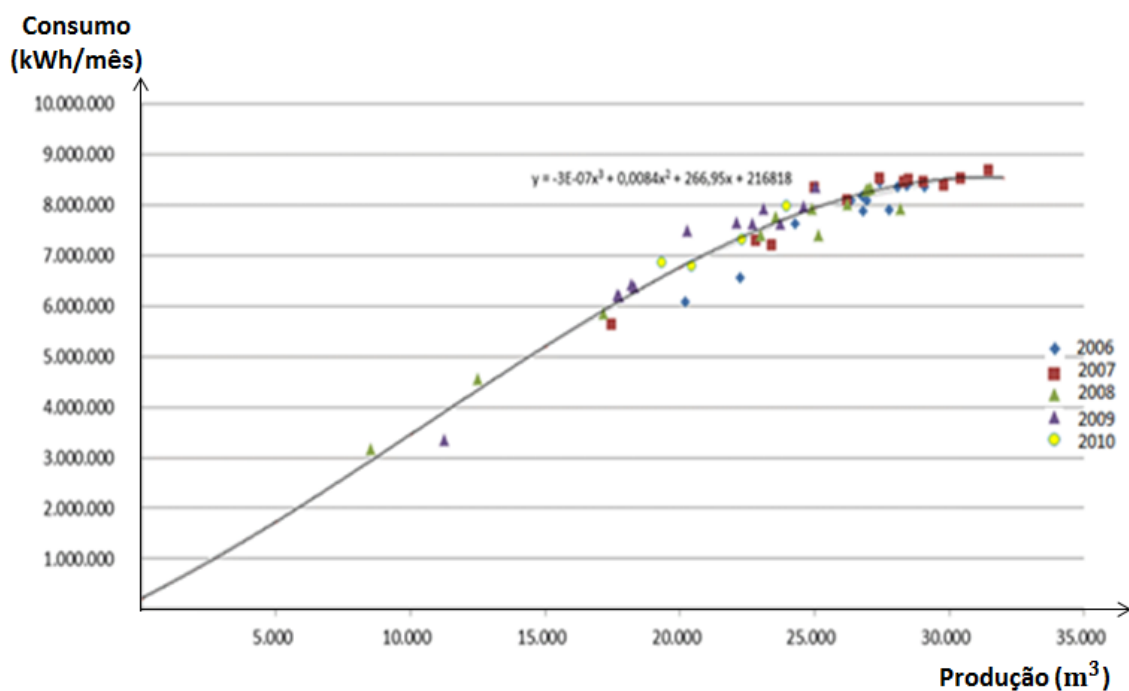


Figura 3.21 – Característica de consumo.

A função polinomial que representa a característica de consumo é a referência de consumo em relação à qual poderá ser medido um consumo futuro e a correspondente poupança. Cada instalação terá uma característica de consumo específica.

$$\text{Consumo} = -3E^{-07}\text{Produção}^3 + 0,0084\text{Produção}^2 + 266,95\text{Produção} + 216818 \quad , \quad (3.60)$$

Para o cálculo do desempenho energético, deverá ser utilizada a seguinte equação:

$$DE = \frac{\sum(cc(P_i) - c_i(P_i))}{\sum cc(P_i)} \quad (3.61)$$

Em que:

- DE – Desempenho energético;
- $CC(P_i)$ – Consumo característico do valor de produção real no período i , dado pela curva característica;
- $C_i(P_i)$ – Consumo real i do valor de produção i .

Desta forma e após o processo de cálculo obtiveram-se os indicadores de desempenho para cada ano na seguinte tabela:

Tabela 3.19 – Valores de indicador de desempenho energético.

Ano	DE (%)
2006	2,9
2007	0,4
2008	0,7
2009	-2,4
2010	-1,2

Por análise de resultados, verifica-se que os valores de desempenho energético (DE) positivos indicam uma maior predominância relativa abaixo da curva característica de produção, isto é, uma maior eficiência no respectivo ano. E os valores de DE negativos representam anos onde a produção foi menos eficiente (relacionado com o aumento de consumo energético para os mesmos níveis de produção de outros anos).

3.4.5.2. Opção ME_p

Consiste num processo de medição de desempenho de M&V em que o consumo de referência é medido na própria instalação e em que o consumo no período de reporte é estimado. Poderá haver ajustes nas medições de fluxo de referência. Poderão para tal ser usados qualquer tipo de modelos de ajustes descritos (ver secção 3.4.4).

Nesta Opção de M&V, no período de reporte o consumo será estimado. Esta estimativa poderá ser realizada com base nas características de eficiência dos equipamentos substituídos ou com base em simulação do consumo da instalação para os novos equipamentos instalados e para os novos padrões de consumo esperados para a instalação após a implementação das MRE.

Esta opção de medição aplica-se em situações em que não é possível ou não se justifica economicamente a instalação de unidades de medição de fluxo energético no período de reporte. Por exemplo quando pretendemos medir a poupança conseguida pela substituição de um equipamento de pequena dimensão, em que não se justifica economicamente a medição (ex.: substituição de lâmpadas). Se o equipamento tiver uma característica de consumo complexa então poderá ser simulado os consumos para o padrão de utilização desse equipamento, é o caso por exemplo de um sistema de bombagem. Também pode ser aplicado quando se pretende definir um valor de poupança *a priori*, antes da MRE, como por exemplo

em casos em que a instalação não existe, nestes casos procede-se a uma simulação dos consumos na instalação.

Para este tipo de Opção espera-se a existência de:

- Definição do circuito energético de fluxo, antes e após a implementação da MRE;
- Unidades de medição de fluxo, antes da implementação da MRE, não existem medições após a implementação da MRE;
- Modelos de ajuste do consumo, antes da implementação da MRE;
- Modelo de estimativa de consumo após a implementação da MRE;
- Modelo de cálculo da poupança energética.

O modelo de estimativa para o caso de substituição de equipamento pode ser do tipo indicado pela equação 3.62. Em alguns casos pode-se assumir que o padrão de utilização se mantém, o que permite estimar o tempo equivalente de utilização com os consumos e potência instalada antes da implementação da medida (equação 3.63).

$$Consumo_D = Tempo_{Equivalente\ utilização\ D} \cdot P_{nominal\ D} \quad (3.62)$$

Em que:

- $Consumo_D$ – Consumo estimado depois da substituição de equipamentos, em kWh;
- $Tempo_{Equivalente\ utilização\ D}$ – Tempo de utilização ou funcionamento dos equipamentos depois da substituição dos equipamentos, em h (horas);
- $P_{nominal\ D}$ – Valor nominal de potência do equipamento depois da sua substituição, em kW.

$$Tempo_{Equivalente\ utilização\ D} = \frac{Consumo_A}{P_{nominal\ A}} \quad (3.63)$$

Em que:

- $Consumo_A$ – Consumo antes da substituição de equipamentos, em kWh;
- $P_{nominal\ A}$ – Valor nominal de potência do equipamento antes da sua substituição, em kW.

Nota: O tempo equivalente de utilização antes e após a substituição dos equipamentos será à partida o mesmo.

Em casos mais complexos existe alteração dos padrões de utilização e existe uma característica de consumo da instalação não linear. Nestes casos deverá proceder-se a uma estimativa do $Consumo_D$ usando simulações com um nível de detalhe de modelização de consumo adequados à situação.

A poupança poderá ser calculada da mesma forma para os casos em que existem medições reais depois da substituição dos equipamentos (Opção MM_p). Uma equação possível para este cálculo:

$$\Delta\phi W = \text{Consumo}_A - \text{Consumo}_D \quad (3.64)$$

Em que:

- $\Delta\phi W$ – Poupança energética, em kWh.

3.4.5.3. Opção EM_p

Consiste num processo de medição de desempenho de M&V em que o consumo de referência é estimado na própria instalação e em que o consumo no período de reporte é medido. Poderá haver ajustes nas medições de fluxo do período de reporte. Poderão para tal ser usados qualquer tipo de modelos de ajustes descritos (ver secção 3.4.4).

Nesta Opção de M&V a estimativa é realizada no período de referência em que os modelos de estimativa ou simulação a utilizar serão semelhantes aos descritos no âmbito da Opção ME_p, para o período de reporte.

Esta Opção M&V é utilizada sempre que não existam medições de fluxo energético antes da implementação das medidas e em casos em que não há tempo para constituir uma campanha de medidas em período de referência.

Também poderá ser utilizado em casos em que se implementa uma alternativa de MRE relativamente a um cenário base de equipamento não eficiente, que seria implementado se não existisse a MRE. Por exemplo, se não existir projecto ESE será instalada uma caldeira ineficiente, mas existindo o projecto será instalado uma caldeira mais eficiente com custo superior mas que trará poupanças energéticas. Neste caso o consumo de referência não é um valor estimado *a priori* mas sim uma estimativa de um cenário base virtual.

Para este tipo de opção espera-se a existência de:

- Definição do circuito energético de fluxo, antes (podendo ser um sistema energético de um cenário virtual) e após a implementação da MRE;
- Unidades de medição de fluxo, após a implementação da MRE, não existem medições antes da implementação da MRE;
- Modelo de estimativa de consumo antes da implementação da MRE;
- Modelos de ajuste do consumo, após a implementação da MRE;
- Modelo de cálculo da poupança energética.

Os modelos de estimativa de consumo e modelos de cálculo de poupança serão semelhantes aos apresentados para a opção ME_p.

3.4.5.4. Opção EE_p

Consiste num processo estatístico de desempenho de M&V em que o consumo de referência é estimado na própria instalação e em que o consumo no período de reporte também é estimado.

Este tipo de Opção de M&V é aplicado quando não existe instalação e quando não se prevê que venha a haver medições após a implementação da instalação. Também em casos já descritos para a Opção EM_p, em que não será possível a medição após a implementação da

MRE. Também em casos de programas nacionais ou regionais de eficiência energética em que não é possível proceder a medições, nem antes nem após a implementação, devido aos custos que tal acarreta.

Para este tipo de opção espera-se a existência de:

- Definição do circuito energético de fluxo, antes (podendo ser um sistema energético de um cenário virtual) e após a implementação da MRE;
- Modelo de estimativa de consumo antes e após da implementação da MRE;
- Modelos de ajuste do consumo, antes e após a implementação da MRE;
- Modelo de cálculo da poupança energética.

3.4.5.5. Opção MM_T

Consiste num processo de medição de desempenho de M&V em que o consumo de referência é medido em instalações típicas e em que o consumo no período de reporte é medido na própria instalação. Poderá haver ajustes tanto nas medições de fluxo de referência como nas medições de fluxo do período de reporte. Poderão para tal ser usados qualquer tipo de modelos de ajustes descritos (ver secção 3.4.4). Em alguns casos poderá ser necessário aplicar modelos de ajuste específicos para ajustar o consumo de referência entre instalações típicas e a própria instalação.

Este tipo de Opção de M&V aplica-se em casos em que, não existindo medidas de referência ou não sendo possível a estimativa no próprio edifício, se possam usar valores de referência retirados de outras instalações semelhantes, este processo é conhecido por *benchmarking*. Também pode adoptar-se esta Opção de M&V, quando se pretende estimar o consumo relativamente a uma referência global. Tal acontece frequentemente nos processos de monitorização de programas nacionais de eficiência energética, ou também em cadeias de serviços com instalações tipificadas (ex.: cadeia de restaurantes).

Para este tipo de opção espera-se a existência de:

- Característica de consumo nas instalações de referência, geralmente na forma de indicadores de consumo;
- Definição do circuito energético de fluxo após a implementação da MRE;
- Modelos de ajuste do consumo, no período de reporte;
- Modelo de cálculo da poupança energética.

3.4.5.6. Opção ME_T

Consiste num processo de medição de desempenho de M&V em que o consumo de referência é medido em instalações típicas e em que o consumo no período de reporte é estimado.

Este tipo de Opção M&V é usada para as situações referidas na Opção MM_T em que não se dispõe de medição após no período de reporte na própria instalação.

Para este tipo de opção espera-se a existência de:

- Característica de consumo nas instalações de referência, geralmente na forma de indicadores de consumo;
- Definição do circuito energético de fluxo após a implementação da MRE;
- Modelos de estimativa do consumo, na própria instalação e no período de reporte;
- Modelo de cálculo da poupança energética.

3.5. Procedimentos e definição do período de referência e período de reporte

A definição do período de consumo de referência consiste num cenário prévio de medições de consumos referentes aos equipamentos presentes na instalação. Por vezes este cenário é complementado com informação obtida após uma inspecção local às instalações (auditoria), com a finalidade de determinar o potencial quanto à alteração de regras de utilização e equipamentos.

O período de reporte consiste na comparação de resultados obtidos pós intervenção com o cenário de referência. O objectivo será em determinar as poupanças económicas e energéticas geradas, bem como a eficácia da aplicação do Plano M&V.

Na caracterização do período de referência deverão ser definidas as condições dos equipamentos tais como: inventário de equipamentos na instalação, condições de utilização (se o tipo de funcionamento é anual, mensal, diário, irregular, etc.), estabelecer procedimentos de identificação (modelo, número de série, etc.), taxas de consumo de energia, dados meteorológicos e estratégias de controlo. Na caracterização do período de reporte a informação a mencionar estará relacionada com as actividades de pós-intervenção da M&V tais como: funcionamento correcto dos equipamentos, detalhes de novos equipamentos instalados, tempo de duração de reporte (deverá corresponder pelo menos a um ciclo de funcionamento normal dos equipamentos na instalação, detalhes de alterações das condições referentes ao cenário de referência, bem como de poupanças económicas e energéticas previstas (para o primeiro ano).

Na caracterização das variáveis medidas do período de referência será necessário referir todas as variáveis de fluxo (ver tabelas 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5) e variáveis de estado (ver tabela 3.10) que foram medidas neste período, bem como analisadas numa eventual inspecção à instalação (auditoria). No período de reporte será necessário verificar apenas se houve alguma alteração nas variáveis medidas (variáveis de fluxo e estado), isto é, introdução de novas variáveis que necessitem da realização de ajustes para uma consolidação com o cenário de referência.

Na caracterização da fronteira de medição no período de referência será necessário referir as condições relativamente aos esquemas de princípio e localização das unidades de medição, atribuir uma identificação às fronteiras, definir a delimitação da fronteira pelas unidades de medição e identificar as redes de fluxo energético, esta informação deverá constar na tabela 3.7 deste guia. No período de reporte o principal será verificar se as condições da fronteira de medição se mantiveram iguais às do período de referência, caso isso não aconteça então será necessário realizar procedimentos de ajuste e indicar novamente a informação já descrita no período de referência.

Na caracterização da fronteira de utilização do período de referência será necessário referir as condições quanto à afectação da fronteira de medição pela zona de utilização (parcial ou total), identificação das zonas de utilização, designação dos espaços de utilização e a área total desses mesmos espaços, esta informação deverá constar na tabela 3.8 deste guia. Mais uma vez, no período de reporte apenas será necessário verificar se as condições da fronteira de utilização se mantiveram iguais às do período de referência, caso isso não aconteça, referir as alterações ao seu conteúdo.

Na análise de dados no período de referência o pretendido será com base nos valores de precisão estipulado pelas unidades de medição (fluxo e estado), verificar a conformidade das medições realizadas e a sua devida documentação. Será necessário desta forma indicar quais os níveis de precisão de referência estabelecidos pelos equipamentos de medição, apresentar os resultados obtidos em coerência com a gama de precisão, bem como eventuais desvios de precisão de referência relativamente à precisão observada. No período de reporte a análise de dados consiste numa verificação da precisão obtida em comparação com a precisão de referência estabelecida pelas unidades de medição de fluxo e de medição de estado. Deverão ser indicados os desvios de precisão relativamente ao período de referência, padrões de medição irregulares observados pelas unidades de medição de fluxo e de estado, e a realização de comparações de distribuições padronizadas de precisão esperada com a precisão de referência.

Na quantificação de indicadores no período de referência apenas será necessário a sua representação matemática e resultados obtidos. No período de reporte o recálculo dos indicadores definidos no período de referência permitem estabelecer uma comparação de resultados entre os dois períodos e determinar as poupanças.

Finalmente, a parametrização do *baseline* (período de referência) consiste na definição de um período que servirá como base para as medições efectuadas na instalação. O *baseline* é um dos procedimentos mais importantes na aplicação do Plano M&V, pois é com este período que são comparados os resultados do período de reporte relativamente à existência ou não de ganhos de eficiência e diminuição de consumos energéticos.

3.6. Controlo da qualidade da M&V

Descrever o procedimento de controlo da qualidade da M&V. Não confundir com o controlo da qualidade do projecto de eficiência, este é o próprio Plano M&V. Neste ponto deve descrever-se a precisão esperada para os equipamentos de medição e a forma de verificação. Também deve ser descrita a forma como será verificado e provado se os procedimentos planeados são realizados correctamente. Este controlo de qualidade é feito por amostragem numa fracção de equipamentos e numa fracção e periodicidade temporal.

A verificação da precisão de equipamentos deverá ser realizada baseando-se em dois tipos de precisão: precisão referência e precisão observada. Estes resultados devem ser comparados e analisados por forma a determinar a qualidade de precisão dos registos obtidos pelos equipamentos de medição. Desta forma, a verificação da precisão dos equipamentos deverá seguir uma apresentação tabelar (ver tabela 3.20).

Tabela 3.20 – Registo de precisão dos equipamentos.

Equipamento de medição (a) Identificação	Precisão (b)		Data de verificação (c)	Comentários (d)
	Referência	Observada		

- a) Identificação pela qual é reconhecido o equipamento de medição, deverá ser representado por um código previamente definido nas tabelas: 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ou 3.10;
- b) Registo das características de precisão dos equipamentos de medição com o objectivo de comparar a precisão de referência com a precisão observada na recolha de dados:
 - Referência – indicar qual a escala de precisão de referência utilizada nos equipamentos de medição;
 - Observada – registar qual a precisão obtida da recolha de dados pelos equipamentos de medição;
- c) Indicar a data que foi efectuada a verificação dos equipamentos de medição, deverá ser representada por dd/mm/aa;
- d) Nos comentários deverá ser registada informação adicional, caso necessária, quanto a características especiais dos equipamentos de medição.

Um aspecto também importante no controlo de qualidade e verificação é a fiabilidade dos equipamentos. Devem ser efectuadas revisões constantes quanto ao funcionamento dos equipamentos com o objectivo de verificar se estes desempenham correctamente as suas funções. No caso de se verificar uma anomalia no equipamento ou nos resultados medidos, será necessário determinar qual o tempo em que este mediu de forma anómala, ou esteve fora de serviço, e a gravidade da anomalia. Esta análise deverá ser representado em forma tabelar (ver tabela 3.21).

Tabela 3.21 – Registo de anomalias dos equipamentos.

Equipamento de medição (a) Identificação	Tipo de funcionamento (b) I; A	Período de medição anómalo (c)			Severidade (d) I; DNU; DUENA; DUES
		Início da anomalia	Deteção da anomalia	Fim da anomalia	

- a) Identificação pela qual é reconhecido o equipamento de medição, deverá ser representado por um código previamente definido nas tabelas: 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ou 3.10;
- b) Indicar se o equipamento esteve indisponível (I), não existindo medição, ou se mediu de forma anómala (A), existindo medições;
- c) Indicar os períodos de medição em que se detectou anomalias nos equipamentos de medição:
 - Início da anomalia – neste período é definida a data em que a anomalia surgiu, influenciando a credibilidade dos dados recolhidos pelos equipamentos de medição, deverá ser representado por dd/mm/aa, caso não seja possível a sua determinação representar por N.D. (não disponível);
 - Detecção da anomalia – neste período é definido a data quando foi detectada a anomalia no equipamento de medição, deverá ser representado por dd/mm/aa;
 - Fim da anomalia – neste período é definida a data em que a anomalia do equipamento de medição foi reparada, deverá ser representado por dd/mm/aa;
- d) Indicar qual a disponibilidade e confiança dos dados recolhidos pelos equipamentos de medição:
 - Indisponíveis (I) – os equipamentos de medição não recolheram qualquer tipo de dados;
 - Disponíveis não utilizáveis (DNU) – os dados recolhidos não oferecem qualquer confiança;
 - Disponíveis utilizáveis – os dados recolhidos são seguidos de uma indicação de erro que podem ser erros não ajustáveis e erros sistemáticos:
 - Erro não ajustável (DUENA) – perante este caso é necessário quantificar a sua discrepância e o seu desvio relativamente ao erro *standard*;
 - Erro sistemático (DUES) – caso o erro de medição seja ajustável, identificar qual o modelo de ajuste, onde as modificações deverão ser acordadas e aceites pelo cliente.

3.7. Identificação dos responsáveis pelo Plano M&V

A identificação do Plano M&V consiste na informação relativamente às entidades responsáveis pela elaboração, validação e verificação do plano.

Normalmente estas entidades são empresas de serviços de energia com engenheiros devidamente qualificados, onde possuem um grau de qualificação na área da M&V designado por CMVP (*Certified Measurement & Verification Professional*).

O seguinte formulário demonstra como esta informação deverá ser apresentada no início Plano M&V:

Identificação do Plano M&V

Operador da instalação:

Empresa de serviço energético:

Responsável pela elaboração do plano

Técnico:

Empresa:

Responsável pela validação do plano

Técnico:

Empresa:

Responsável pela verificação do plano

Técnico:

Empresa:

3.8. Especificação de orçamento

Consiste na especificação de um orçamento e recursos necessários para a determinação da poupança, bem como os custos iniciais estabelecidos e os custos contínuos durante o período de reporte.

Estes custos estão relacionados com os equipamentos fixos, com custos de instalação e configuração do equipamento fixo, custos anuais, custos de intervenções de M&V periódicas e finalmente com uma distribuição de custos ao longo de todo o tempo de vida do projecto.

Os custos de equipamentos fixos estão normalmente relacionados com o tipo de unidades de medição implementadas na instalação, concentradores, tipo e dimensionamento da cablagem, *software* necessário para a realização da M&V, componentes de *hardware*, etc.

Os custos anuais associados ao Plano M&V são normalmente custos de comunicações, manutenção, verificação dos equipamentos instalados de medição e análise de dados.

Os custos de intervenções de M&V periódicas dizem respeito à eventual necessidade de aluguer de equipamentos extra para a realização das medições com níveis de precisão mais adequados com um custo de serviço associado.

Todos estes custos são relativos ao período de referência e ao período de reporte, onde deverão ser apresentados no Plano M&V sob a forma de uma tabela (ver tabela 3.22).

Tabela 3.22 – Orçamento.

Período	Instrumentação (€)	Leitura e análise (€)	Relatórios (€)
Referência			
Reporte			

Onde os custos totais relativos à medição e verificação podem ser calculados pela seguinte equação:

$$Total_{M\&V}(\text{€}) = \text{Instrumentação} + \text{Leitura e análise} + \text{Relatórios} \quad (3.65)$$

Assim para o estabelecimento das poupanças, será necessário definir *a priori* o orçamento que contabiliza os gastos necessários para os equipamentos, leituras e análises, bem como a elaboração de relatórios no período de referência e de reporte.

Capítulo 4

Caso Prático - Plano M&V

A empresa X tem como sede principal um edifício de escritórios de 2 pisos onde são geridos todos os seus negócios e serviços. Este edifício possui vários equipamentos de consumo de energia, tais como iluminação, computadores, sistemas de aquecimento, etc., onde o pretendido será estabelecer um Plano M&V com o objectivo de reduzir a factura energética mantendo os serviços e níveis de funcionamento normais.

Na criação do Plano M&V para esta empresa será utilizado como linha de raciocínio o “Guia de Medição e Verificação” apresentado no capítulo anterior (Capítulo 3) deste trabalho de dissertação.

Nota: A informação apresentada relativamente à empresa tem apenas como principal objectivo enquadrar o presente caso de estudo. Tratando-se assim de uma empresa fictícia, todos os dados que serão referidos não correspondem à realidade, servindo apenas como exemplo de aplicação do guia aquando da concepção do Plano M&V.

Plano M&V

Tipo de Modelo de Desempenho: ME_p

4.1. Identificação do Plano M&V

Operador da instalação:

Empresa de serviço energético:

Responsável pela elaboração do plano	Técnico:
	Empresa:
Responsável pela validação do plano	Técnico:
	Empresa:
Responsável pela verificação do plano	Técnico:
	Empresa:

4.2. Descrição da MRE

Optimização da eficiência energética dos circuitos de iluminação do edifício. A medida de racionalização energética a implementar consistirá em reduzir os consumos e melhorar os níveis de iluminação. Esta medida será efectuada através da substituição de lâmpadas fluorescentes com balastros ferromagnéticos (tipo T8) por lâmpadas fluorescentes com balastros electrónicos (tipo T5) e as lâmpadas fluorescentes compactas por lâmpadas LED.

4.3. Definição da fronteira de medição

A fronteira de medição será delimitada pelas unidades de medição de fluxo (contadores eléctricos) com medições instantâneas em todas as saídas de iluminação do quadro eléctrico.

Tabela 4.1 – Características dos contadores eléctricos.

Equipamento contador				Tensão U_{nominal} (V)	Tipo de alimentação Monofásica /Trifásica	Intensidade da corrente		Precisão de operação máxima (%)
Identificação	Nº de série	Modelo	Tipo de medidor			I_{nominal} (A)	$I_{\text{máximo}}$ (A)	
UM.CE1	1001	ALE3	Medição directa	230-400	Trifásica	0,5	100	±0,1
UM.CE2	1002	ALE3	Medição directa	230-400	Trifásica	0,5	100	±0,1
UM.CE3	1003	ALE3	Medição directa	230-400	Trifásica	0,5	100	±0,1

Estas unidades de medição de fluxo estão montadas e pertencem ao edifício. Os dados serão reportados nas tabelas pelos técnicos de M&V.

4.3.1. Caracterização dos circuitos de fluxo energético (iluminação)

A localização nos circuitos de fluxo energético onde serão implementadas as unidades de medição de fluxo é descrita na seguinte tabela:

Tabela 4.2 – Caracterização de redes de fluxo energético no edifício.

Circuitos de fluxo energético			Unidades de medição de fluxo	
Identificação	Tipo de circuito	Localização	Número de unidades	Medição total
CFE1	Eléctrico (iluminação)	Piso 0	2	719,26Wh/ano
		Piso 1	1	4584,32kWh/ano

O seguinte esquema de princípio permite visualizar a localização das unidades de medição:

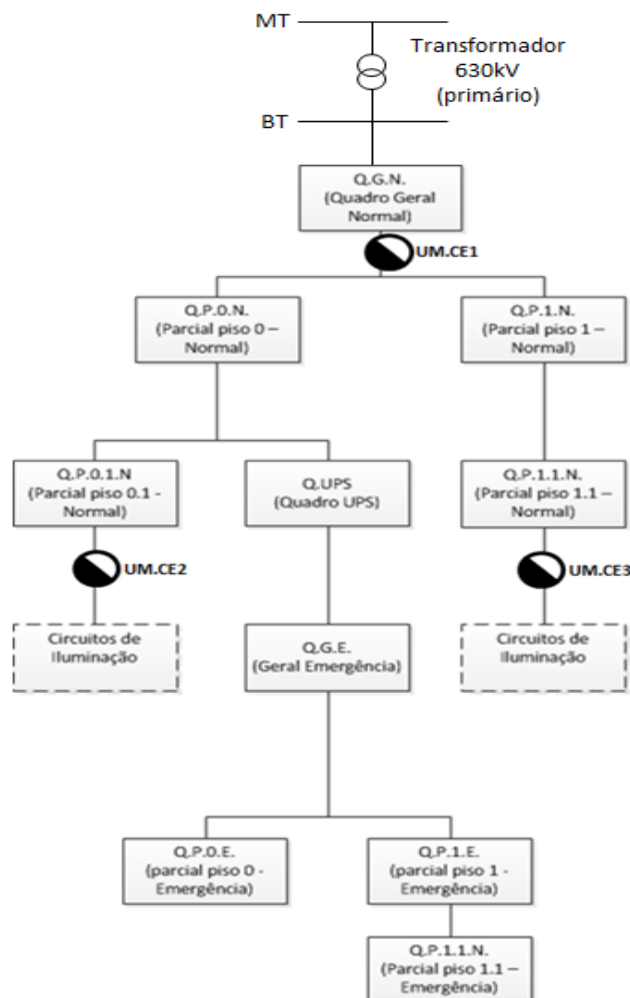


Figura 4.1 – Quadro eléctrico do edifício e derivações da iluminação.

Como é visível na figura, a desagregação dos consumos referentes à parte de iluminação é realizada pela delimitação entre as respectivas unidades de medição de fluxo por cada piso.

4.3.2. Caracterização da fronteira de medição

Para o piso 0 o circuito de fluxo energético relativamente à iluminação será medido através das unidades UM.CE1 e UM.CE2, que representa o Q.P.0.1.N. Para o piso 1 os consumos da iluminação serão obtidos através das unidades de medição de fluxo UM.CE1 e UM.CE3, que representa o Q.P.1.1.N.

Esta informação é apresentada na seguinte tabela:

Tabela 4.3 – Características da fronteira de medição no edifício.

Fronteira de medição Identificação	Unidades de medição		Circuito de fluxo energético Identificação
	De fluxo de entrada	De fluxo de saída	
FM1	UM.CE1	UM.CE2	CFE1
FM2	UM.CE1	UM.CE3	

4.4. Definição da fronteira de utilização

4.4.1. Correspondência entre fronteira de utilização e fronteira de medição

As zonas de utilização são definidas relativamente ao circuito de fluxo energético (iluminação) em conformidade com a fronteira de medição e os níveis de utilização dos utilizadores do edifício.

Na seguinte tabela é apresentada a relação entre fronteira de utilização e medição:

Tabela 4.4 – Características entre fronteira de utilização e fronteira de medição no edifício.

Fronteira de utilização Identificação	Fronteira de medição Identificação	Zona	
		Designação	Área total (m ²)
FU1	FM1	Recepção e sala de arquivos	120
FU2	FM2	Escritórios	270

4.4.2. Caracterização de sistemas de consumo

Relativamente aos circuitos de iluminação os equipamentos identificados no edifício, bem como os perfis de utilização foram os seguintes:

Tabela 4.5 – Características dos constituintes de cada fronteira de utilização no edifício.

Fronteira de utilização	Equipamentos de consumo		Utilização	Potência nominal
	Identificação	Número de unidades		
	Tipo de equipamentos		Perfil tempo de utilização (% de horas)	P_n (W)
FU1	Lâmpadas fluorescentes compactas (GA805i)	26	35%	40
FU2	Lâmpadas fluorescentes com balastros ferromagnéticos (tipo T8 - NL-T8 58W/865/G13)	50	80%	58

Nota: No Anexo C são apresentadas características adicionais dos modelos das lâmpadas indicadas na tabela.

O perfil de utilização dos equipamentos de iluminação aparece sob a forma de “% por hora” tendo sido identificado uma utilização do edifício de 8h/dia.

Assim para o caso da FU1 e FU2 os equipamentos de iluminação:

$$\text{horas funcionamento}(FU1) = 8 \times 0,35 = 2,8h$$

e

$$\text{horas funcionamento}(FU2) = 8 \times 0,80 = 6,4h$$

4.4.3. Caracterização das unidades de medição das variáveis de estado

A variável de estado identificada no edifício na elaboração deste Plano M&V foi a variável de ocupação, isto é, número de utilizadores que frequentam diariamente o edifício. Na seguinte tabela foram registados os equipamentos (sensores de presença) que realizavam a medição da variável de ocupação:

Tabela 4.6 – Características das unidades de medição das variáveis de estado.

Equipamento de medição		Variável de estado	Zona
Identificação	Modelo	Identificação	Designação
UM.E1	SP-1	Ocupação	Recepção e sala de arquivos
UM.E2	SP-2	Ocupação	Escritórios

De seguida são apresentadas plantas interiores do edifício. O piso 0 é constituído pela recepção e sala de arquivos e tem a seguinte planta com a respectiva localização da unidade de medição de estado:



Figura 4.2 – Piso 0, recepção e sala de arquivos.

O piso 1 é constituído por várias divisões, onde a unidade de medição de estado da variável de ocupação é apresentada na seguinte planta:



Figura 4.3 – Piso 1, escritórios.

4.4.4. Caracterização dos utilizadores da zona

Existem vários tipos de utilizadores ao edifício e como tal serão descritos na seguinte tabela, juntamente com os espaços mais frequentados e horas de permanência:

Tabela 4.7 – Caracterização dos utilizadores no edifício.

Utilizadores	Espaços de utilização frequentes	Horário de utilização
Rececionista	Piso 0 - Recepção e sala de arquivos	9h às 18h
Empregados de escritório	Piso 1 - Escritórios	9h às 18h
Manutenção	Todo o edifício	Quando necessário

4.5. Caracterização das variáveis

Na seguinte tabela são apresentadas todas as variáveis de fluxo e de estado que foram medidas no edifício:

Tabela 4.8 – Caracterização das variáveis.

Tipo de variáveis		Grandeza medida	Unidade de medição	Periodicidade Tipo de medição	Medição Período	Modelo Identificação
Identificação	Tipo					
V1	Fluxo	Energia eléctrica (kWh)	UM.CE1	Contínua	01/01/2010 a 31/12/2010	Modelos de agregação de consumos
V2	Fluxo	Energia eléctrica (kWh)	UM.CE2	Contínua	01/01/2010 a 31/12/2010	Modelos de agregação de consumos
V3	Fluxo	Energia eléctrica (kWh)	UM.CE3	Contínua	01/01/2010 a 31/12/2010	Modelos de agregação de consumos
V4	Estado	Ocupação	UM.E1	Contínua	01/01/2010 a 31/12/2010	N.D.
V5	Estado	Ocupação	UM.E2	Contínua	01/01/2010 a 31/12/2010	N.D.

De seguida é apresentada a variável envolvente identificada e relevante para a elaboração do Plano M&V:

Tabela 4.9 – Caracterização das variáveis de envolvente.

Variável	Valor de referência	Modelo de Ajuste
Identificação		Identificação
Preços de electricidade	Tarifário do ano 2010	N.D.

Nota: N.D. – Não Disponível, significa que não será necessário utilizar um modelo para caracterizar a variável.

4.6. Descrição do período de referência

No estabelecimento do período de referência foi definido a duração do intervalo de tempo (período), dados da situação de referência, procedimentos, variável de estado, variável envolvente, factores estáticos e característica de consumo de referência (ajuste do consumo por níveis de ocupação).

4.6.1. Duração do intervalo de tempo (período)

O período de medição do consumo de referência foi definido num intervalo de 1 ano (ano 2010), tal como é referido na tabela 4.8.

4.6.2. Dados da situação de referência

A informação relativamente aos equipamentos instalados (número de unidades e potência nominal) foi descrita na tabela 4.5, onde os aparelhos de iluminação analisados foram:

- 26 Lâmpadas fluorescentes compactas de potência nominal 40W;
- 50 Lâmpadas fluorescentes com balastros ferromagnéticos de potência nominal 58W.

O perfil de tempo de utilização dos equipamentos de iluminação no ano de referência com 247 dias úteis foi:

- Funcionamento das lâmpadas fluorescentes compactas

$$horas_{anuais} = 2,8 \times 247 = 691,6h/ano$$

- Funcionamento das lâmpadas fluorescentes com balastros ferromagnéticos

$$horas_{anuais} = 6,4 \times 247 = 1580,8h/ano$$

4.6.3. Procedimentos

O período de referência do edifício foi obtido através das medições dos contadores eléctricos à saída de cada circuito de iluminação ao longo de todo o ano de 2010.

Desta forma:

- Para as lâmpadas fluorescentes compactas (lfc) registou-se:

$$Consumo_{lfc} = 719,26kWh/ano$$

- Para as lâmpadas fluorescentes com balastos ferromagnéticos (lfbf) registou-se:

$$Consumo_{lfbf} = 4584,32kWh/ano$$

4.6.4. Variável de estado

Ocupação (número de presenças médio ao longo do ano)

4.6.5. Variável envolvente

Preço de electricidade ao tarifário do ano de 2010

4.6.6. Factores estáticos

- Períodos de ocupação: 9-18h de todos os dias úteis;
- Número de ocupação: 150 funcionários de todos os dias úteis;
- Área bruta interior do edifício: 390m²;
- Não foram registadas indisponibilidades (falha ou manutenção) dos circuitos de iluminação.

4.6.7. Característica de consumo de referência

O consumo de referência total dos equipamentos de iluminação ao longo do ano 2010 foi:

$$Consumo_{A,referência} = Consumo_{lfc} + Consumo_{lfbf} = 719,26 + 4584,32 = 5303,58kWh/ano$$

Procedeu-se ainda a um estudo de ajuste de ocupação do consumo de referência. O número de presenças médio registado ao longo do ano foi de 150 funcionários. O consumo de referência ajustado para os níveis de ocupação foi:

$$Consumo_{Ocupação} = \frac{Consumo_{referência}}{Ocupação} = \frac{5303,58}{150} = 35,36kWh/ano.funcionários$$

4.7. Descrição do período de reporte

Após a implementação da MRE, substituição dos equipamentos de iluminação, serão realizadas medições instantâneas em todas as saídas (piso 0 e piso 1) dos circuitos de iluminação do edifício. Será definido a duração do intervalo de tempo de reporte e os procedimentos a realizar.

4.7.1. Duração do intervalo de tempo (período)

O período de reporte será ao fim de 1 ano após a implementação da MRE, com medição contínua.

4.7.2. Procedimentos

Com a implementação da MRE todos os equipamentos de iluminação serão substituídos por equipamentos mais eficientes. Desta forma teremos:

- Lâmpadas fluorescentes com balastros electrónicos (tipo T5);
- Lâmpadas LED (*Light-Emitting-Diode*);

Assim as fronteiras de utilização já definidas anteriormente possuem agora a seguinte composição:

Tabela 4.10 – Características dos constituintes de cada fronteira de utilização.

Fronteira de utilização Identificação	Equipamentos de consumo		Utilização Perfil tempo de utilização (% de horas)	Potência nominal P_n (W)
	Tipo de equipamentos	Número de unidades		
FU1	Lâmpadas LED (Econic Bulb 25W)	26	35%	25
FU2	Lâmpadas fluorescentes com balastros electrónicos (tipo T5 - NL-T5 54W/880/G5)	50	80%	54

Nota: No Anexo C são apresentadas características adicionais dos modelos das lâmpadas indicadas na tabela.

A substituição dos equipamentos de iluminação permite manter o mesmo número de unidades instaladas com potências nominais inferiores e melhor eficácia luminosa relativamente às unidades do período de referência.

4.8. Modelo de desempenho

Como já foi referido no início do plano, o tipo de modelo de desempenho é um ME_p onde no período de referência procedeu-se a medições de consumos dos equipamentos de iluminação desagregados por piso e será realizada uma estimativa de consumos, bem como o cálculo dos valores de poupança para o período de reporte.

4.8.1. Modelo de estimativa

O perfil tempo de utilização será assumido como constante para o modelo de estimativa no período de reporte.

Com a implementação da MRE, espera-se que os consumos estimados depois da substituição dos equipamentos de iluminação ao fim de 1 ano sejam:

- Lâmpadas LED

$$Consumo_{D,LED} = 691,6 \times 26 \times \frac{25}{1000} = 449,54 kWh/ano$$

- Lâmpadas fluorescentes com balastros electrónicos (lfbe)

$$Consumo_{D,lfbe} = 1580,8 \times 50 \times \frac{54}{1000} = 4268,16 kWh/ano$$

A estimativa do consumo de reporte total dos equipamentos de iluminação ao fim de 1 ano será:

$$Consumo_{D,reporte} = Consumo_{D,LED} + Consumo_{D,lfbe} = 449,54 + 4268,16 = 4717,70 kWh/ano$$

4.8.2. Cálculo da poupança

O valor da poupança energética caso se proceda à implementação da MRE no edifício será:

$$\Delta \phi W = Consumo_{A,referência} - Consumo_{D,reporte} = 5303,58 - 4717,70 = 585,88 kWh/ano$$

$$Redução_{consumo} = \frac{585,88}{5303,58} \times 100\% = 11,05\%$$

A poupança energética obtida (585,88 kWh/ano) reflecte numa redução de 11,05% na factura de consumo energético anual com a instalação de equipamentos de iluminação mais eficiente.

4.9. Controlo de qualidade da M&V

As unidades de medição de fluxo e de estado instaladas no edifício e descritas neste Plano M&V foram submetidas a um controlo de qualidade e verificação por forma a obter os níveis de exactidão dos dados reportados. Na seguinte tabela é apresentada esta informação:

Tabela 4.11 – Registo de precisão dos equipamentos.

Equipamento de medição Identificação	Precisão		Data de verificação	Comentários
	Referência	Observada		
UM.CE1	±0,5%	±0,4%	31/12/2010	A data de verificação foi efectuada no último dia do período de medição
UM.CE2	±0,5%	±0,2%	31/12/2010	
UM.CE3	±0,5%	±0,4%	31/12/2010	
UM.E1	±5%	±4,8%	31/12/2010	
UM.E2	±5%	±4,7%	31/12/2010	

Foi efectuada uma revisão das unidades de medição instaladas no edifício onde se detectou um equipamento com funcionamento anómalo. Identificou-se também o tipo de anomalia e a consequência da imprecisão dos valores medidos no período de análise de dados.

Tabela 4.12 – Registo de anomalias dos equipamentos.

Equipamento de medição Identificação	Tipo de funcionamento I; A	Período de medição anómalo			Severidade I; DNU; DUENA; DUES
		Início da anomalia	Deteção da anomalia	Fim da anomalia	
UM.CE2	A	N.D.	06/04/2010	07/04/2010	DUENA

Nota: N.D. – Não Disponível, significa que não foi possível apresentar a data em que ocorreu a anomalia da unidade de medição.

Quanto à severidade da anomalia identificada (DUENA - Disponível Utilizável com Erro Não Ajustável) determinou-se que o desvio relativamente à unidade de medição foi [-0,45987; 0,49989] kWh.

4.10. Orçamento

Para se poder estabelecer as poupanças, definiu-se este orçamento que contabiliza os gastos em instrumentação, leitura de análise e elaboração de relatórios para o período de referência e para o período de reporte.

Tabela 4.13 – Orçamento.

Período	Instrumentação (€)	Leitura e análise (€)	Relatórios (€)
Referência	750	0	0
Reporte	0	480	485

Os custos totais relativos à M&V são calculados pelo seguinte somatório:

$$Total_{M\&V} = Instrumentação + Leitura e análise + Relatórios = 750 + 480 + 485 = 1715€$$

Capítulo 5

Conclusões

A utilização dos Planos M&V enquadrados no regulamento nacional diferencia-se da estrutura típica do IPMVP, contudo são na mesma respeitados os conteúdos necessários. Assim é realizado apenas um único plano para toda a instalação em vez de ser estabelecido um plano para cada MRE.

A criação do Guia de Medição e Verificação tem como objectivo uniformizar a nível nacional os procedimentos de definição do Plano M&V, bem como estabelecer boas práticas para o uso racional das várias formas de energia. Este guia apesar de ter sido baseado no protocolo IPMVP apresenta significativas diferenças, nomeadamente no que diz respeito à apresentação da informação de dados recolhidos e dos equipamentos de consumo (tabelas, esquemas de princípio, plantas de localização, etc.), caracterização das unidades de medição (fluxo e estado), caracterização de variáveis inerentes ao projecto (fluxo, estado e envolvente), apresentação de várias soluções em modelos matemáticos e situações que possam de servir como exemplo. Um aspecto importante deste guia é sem dúvida a criação do conceito de **Fronteira de Utilização** aliado ao conceito, evidenciado no protocolo IPMVP, de **Fronteira de Medição**. A conciliação entre estas duas fronteiras permite estabelecer com um elevado grau de precisão as zonas onde será necessário a implementação das MRE e a instalação dos equipamentos de medição numa fase inicial de concepção do Plano M&V. A grande diferença deste guia de M&V em relação ao protocolo IPMVP é a capacidade de desagregação das várias metodologias de M&V, enquanto no protocolo apenas há uma distinção entre medidas isoladas em não isoladas, e medidas directas em indirectas. Assim a abordagem geral do guia de M&V criado no **Capítulo 3** é feita sobre o que na realidade é medido do que é estimado. Através da consulta da tabela 3.18 é possível a escolha *a priori* de um modelo de desempenho energético a aplicar no projecto de eficiência e mediante o modelo escolhido, este terá um nível de precisão e custo associado que permite logo no início do Plano M&V prever os investimentos necessários à sua aplicação, bem como a precisão dos valores de poupança.

As medidas de racionalização energética (MRE) consistem essencialmente num conjunto de acções e medidas, onde são cada vez mais um factor importante de economia energética e de redução de custos em todos os sectores económicos. A maior parte das MRE aplicáveis a edifícios, deverão seguir procedimentos estabelecidos previamente numa metodologia

consistente da M&V onde devem constar a quantificação dos custos de implementação, bem como uma análise da viabilidade de implementação da medida.

O Plano M&V é construído por forma a englobar informações como estudos de produção combinada e valorização dos resíduos endógenos. Assim o relatório final a entregar à agência de energia (ex.: ADENE) será composto por toda a informação recolhida durante a elaboração do Plano M&V, o próprio Plano M&V e o relatório preliminar de auditoria.

O custo da M&V aumenta proporcionalmente com o nível de detalhe exigido pelo tipo de modelo de desempenho a implementar. Quanto maior for o seu detalhe, mais vantagens terá ao nível do valor da poupança esperada e no controlo dos factores que influenciam o consumo energético.

O caso prático apresentado reflecte os consumos de iluminação registados num edifício de escritórios genérico, onde seria ainda possível a implementação de planos comportamentais nos utilizadores por forma a promover a eficiência energética. Com a aplicação do guia realizou-se o Plano M&V e obtiveram-se valores de poupança energética promissores apenas com a medida de substituição dos equipamentos de iluminação.

Finalmente, como trabalho futuro, um dos objectivos consiste na criação de um sistema de gestão de consumos energéticos, que em conjunto com as unidades de medição, seja possível detectar eventuais funcionamentos anómalos e a correcção automática para que os ajustes dos valores de poupança esperados sejam coerentes. Este sistema de gestão permitirá um aumento da fiabilidade do funcionamento das unidades de medição, equipamentos instalados e uma monitorização permanente.

Referências

- [1] *International Performance Measurement and Verification Protocol*, Vol. 1. 2009: Efficiency Valuation Organization.
- [2] EDP, *ECO - O que é a eficiência energética*; Disponível em <http://www.eco.edp.pt/pt/particulares/eficiencia-energetica>. Acedido em Abril de 2011.
- [3] *Introdução ao Uso da Medição e Verificação de Economias de Energia no Brasil*, INEE - Instituto Nacional de Eficiência de Energética - Rio de Janeiro, Novembro de 1997.
- [4] Kats, G., Kumar, S., and Rosenfeld, A. 1999. "The Role for an International Measurement & Verification Standard in Reducing Pollution", *Proceedings of the ECEEE 1999 Summer Study*, Vol. 1, Panel 1.
- [5] Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento, Decreto-Lei n.º 29/2011, in *Diário da República*, 1.ª Série - N.º 41 - 28 de Fevereiro de 2011; Disponível em <http://dre.pt/pdf1sdip/2011/02/04100/0120901216.pdf>. Acedido em Abril de 2011.
- [6] *Guide de la Mesure et de la Vérification Pour les Services de le Efficacité Énergétique. 2009, Club Des Services D'Efficacité Énergétique: Paris.*
- [7] *Efficiency Valuation Organization*; Disponível em http://www.evo-world.org/index.php?option=com_content&view=article&id=40&Itemid=63&lang=pt. Acedido em Abril de 2011.
- [8] *M&V Guidelines: Measurement and verification for Federal Energy Projects*. Version 2.2 - 2000, U.S. Department of Energy.
- [9] *Oportunidades e metodologias de medição e verificação de eficiência energética*. 2011, SmartWatt.
- [10] NAESCO, *National Association of Energy Services Companies, Resources - What is an ESCO*; Disponível em <http://www.naesco.org/resources/esco.htm>. Acedido em Abril de 2011.
- [11] NAESCO, *National Association of Energy Services Companies, Introducing to Energy Performance Contracting*; Disponível em http://www.energystar.gov/ia/partners/spp_res/Introduction_to_Performance_Contracting.pdf. Acedido em Abril de 2011.
- [12] Berkeley Lab, *Using Uncertainty Modeling to Optimize M&V In ESPC Projects*; Disponível em <http://gaia.lbl.gov/federal-espcc/Summit/Using-Risk-Modeling-to-Optimize.ppt>. Acedido em Abril de 2011.
- [13] R. Freund, *Energy Performance Contracting for Small and Medium-Sized Municipalities: Guidelines for Success*: Energieverwertungsagentur (E.V.A.), 2000.
- [14] Energy Commission, *How to hire an energy services company* - Janeiro 2000.

- [15]P. Bertoldi and S. Rezessy, *Energy Service Companies in Europe, Status Report 2005*: European Commission, Luxembourg 2005.
- [16]ABAE, Associação Brasileira Água e Energia, *Eficiência que gera energia*; Disponível em <http://www.abae.org/arquivos/livro/aguaeenergia.pdf>. Acedido em Abril de 2011.
- [17]M&V *Guidelines: Measurement and verification for Federal Energy Projects*. Version 3.0 - 2008, U.S. Department of Energy.
- [18]JPAB, Sociedade de advogados, Contrato ESCO/EPC; Disponível em http://www.rnae.pt/download/RNAE_SeminarioESCO_Guimaraes_14Fev2011_JPAB_IvoneRocha_ContratoESCO_EPC.pdf. Acedido em Abril de 2011.
- [19]IDAE, *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, Ahorro y Eficiencia Energética en Climatización, Guía técnica - Contabilización de consumos*; Disponível em <http://pt.scribd.com/doc/50717218/CONTABILIZACION-CONSUMOS>. Acedido em Abril de 2011.
- [20]*Heat and Cooling (growing) degree days*; Disponível em <http://weather.nmsu.edu/construction/gdd.htm>. Acedido em Maio de 2011.
- [21]APA, Agência Portuguesa do Ambiente, Qualidade do Ar em Espaços Interiores, Um Guia Técnico - Maio de 2010. Disponível em <http://www.apambiente.pt/servicos/LaboratorioReferencia/Documents/Manual%20QAI%20AP%20Maio%202010.pdf>. Acedido em Maio de 2011.
- [22]OSRAM, Manual de Iluminação: Conceitos e Projectos; Disponível em <http://www.joinville.ifsc.edu.br/~edsonh/Pastas%20antigas/Apostilas/Luminotecnica/Luminotecnica/>. Acedido em Maio de 2011.
- [23]ERSE, Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Qualidade da Onda de Tensão; Disponível em <http://www.erse.pt/pt/electricidade/qualidadedeservico/qualidadedeservicotecnica/Paginas/Qualidadedaondadetensao.aspx>. Acedido em Maio de 2011.
- [24]S.M.Deckmann e J. A.Pomilio - O efeito da cintilação luminosa: causas, efeitos e soluções; Disponível em <http://www.dsce.fee.unicamp.br/~antenor/pdf/files/qualidade/a3.pdf>. Acedido em Maio de 2011.
- [25]SIDS, Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável, Produto Interno Bruto regional; Disponível em <https://web.ccdr-alg.pt/sids/indweb/indicador.asp?idl=143&idt=20>. Acedido em Maio de 2011.
- [26]Eurostat, *European statistics*; Disponível em <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/eurostat/home/>. Acedido em Maio de 2011.
- [27]SIDS, Sistema de Indicadores de Desenvolvimento Sustentável, Valor acrescentado bruto; Disponível em <https://web.ccdr-alg.pt/sids/indweb/indicador.asp?idl=157&idt=20>. Acedido em Maio de 2011.
- [28]Radlum, Lâmpadas fluorescentes; Disponível em <http://www.nortecnica.pt/web/docs/lampadascompactasfluorescentes.pdf>. Acedido em Junho de 2011.
- [29]Ejup N. Ganic, Tyler G. Hicks, *McGraw-Hill's - Engineering Companion*, 2009.
- [30]Regulamento da Qualidade de Serviço; Disponível em <http://www.xitizap.com/portugal%20-%20regulamento.pdf>. Acedido em Junho de 2011.
- [31]Albert Thumann, W.J.Y., *Handbook of energy audits*. 7 ed. 2008.

- [32]Albert Thumann, F.W., *Financing Energy Projects Deskbook*. 1997.
- [33]Ali Malkawi, G.A., *Advanced building simulation*. 2004.
- [34]Hansen, S.J., *Performance contracting*. 2 ed. 2006. 332.
- [35]ASHRAE, *Guideline 14 - Measurement of Energy and Demand Savings*. 2002.
- [36]J. Richmond, *Measurement & Verification Report*. 2004.
- [37]F. Prado Jr., *Diretrizes Orientativas para concepção de Projetos de Eficiência Energética*, ESMAP, 2007.
- [38]*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. Disponível em www.ashrae.org, Acedido em Junho 2011.
- [39]ADENE, Agência para a Energia. Disponível em www.adene.pt. Acedido em Maio de 2011.
- [40]Wayne C. Turner, W.H., *Energy management handbook*. 2004. p. 856.
- [41]Cowan, J., *Measurement & Verification, Why?, How?, planning issues*. 2009: Lisbon.
- [42]DGEG, Direcção Geral de Energia e Geologia. Disponível em <http://www.dgge.pt/>. Acedido em Junho de 2011.

Anexos

Anexo A - Poder Calorífico Inferior (PCI) e Poder Calorífico Superior (PCS)

Tipos de Combustível	PCI (Poder Calorífico Inferior) e PCS (Poder Calorífico Superior)
Carvão vegetal	Para o carvão vegetal o valor de referência utilizado como PCI é de 7.500kcal/kg.
Gasóleo C	A empresa distribuidora de gasóleo C deverá apresentar, em cada proposta, o índice de PCI (poder calorífico inferior) do combustível fornecido à instalação, expresso em kWh/L. Na omissão deste valor, deverá ser usado como valor de referência 10,14 kWh/L.
Gás Natural	<p>A empresa comercializadora de gás natural deverá indicar, em cada factura, os dados referentes ao PCS (poder calorífico superior) do combustível fornecido à instalação, expresso em kWh/m³. Para calcular o PCI (poder calorífico inferior) utiliza-se a seguinte equação:</p> $PCI = \frac{PCS}{1,11}$
Propano	A empresa comercializadora de gás propano deverá apresentar, em cada proposta, os valores de PCS (poder calorífico superior) do combustível fornecido à instalação, expresso em kWh/m ³ . Na omissão deste valor, deverá ser usado como valor de referência 26,935 kWh/m ³ .

Anexo B - Tipos de combustível e energia fornecida

Os seguintes valores de emissões de CO₂ são relativamente à energia fornecida através de um combustível (energia fornecida térmica) ou de electricidade (energia fornecida eléctrica) [19]:

Energia fornecida térmica	Emissões CO ₂ (gr CO ₂ /kWh)
Gás natural	204
Gasóleo C	287
GPL	244
Carvão uso doméstico	247
Biomassa	Neutro
Biocarburantes	Neutro
Solar térmica baixa temperatura	0

Energia fornecida eléctrica	Emissões CO ₂ (gr CO ₂ /kWh)
Electricidade convencional peninsular	649
Electricidade convencional extra-peninsular	981
Solar Fotovoltaica	0
Electricidade convencional nas horas de pico nocturnas para sistemas de acumulação eléctrica peninsular	517
Electricidade convencional nas horas de pico nocturnas para sistemas de acumulação eléctrica extra-peninsular	981

Anexo C - Características da Iluminação (Lâmpadas)

Lâmpada fluorescente compacta

De seguida são apresentadas as especificações da lâmpada fluorescente compacta (GA805i) [28]:

Modelo	Voltagem (V)	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficácia Luminosa (lm/W)	Cor Temperatura (K)	Diâmetro (mm)
Megaman - GA805i	220-240	40	286	41	2700	45

Modelo	Comprimento (mm)	Tipo de casquilho	IRC (Índice de restituição cromática)
Megaman - GA805i	74	E27	>80

Lâmpada fluorescente com balastro ferromagnético (tipo T8)

De seguida são apresentadas as especificações da lâmpada fluorescente com balastro ferromagnético do tipo T8 (NL-T8 865/G13) [28]:

Modelo	Corrente nominal (mA)	Voltagem (V)	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficácia Luminosa (lm/W)	Cor Temperatura (K)
NL-T8 58W/865/G13	670	220-240	58	5000	86	6500

Lâmpada LED

De seguida são apresentadas as especificações da lâmpada LED (Econic Bulb 25W) [28]:

Modelo	Voltagem (V)	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficácia Luminosa (lm/W)	Tipo de casquilho
Philips - Econic Bulb 25W	230-240	25	210	42	E27

Lâmpada fluorescente com balastro electrónico (tipo T5)

De seguida são apresentadas as especificações da lâmpada fluorescente com balastro electrónico do tipo T5 (NL-T5 54W/880/G5) [28]:

Modelo	Corrente nominal (mA)	Voltagem (V)	Potência (W)	Fluxo Luminoso (lm)	Eficácia Luminosa (lm/W)	Cor Temperatura (K)
NL-T5 54W/880/G5	455	220-240	54	4000-4650	86	8000