

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Plano de Medição e Verificação Aplicados em
Instalações com Consumos Intensivos de Energia**

Nuno Miguel Ferreira Gomes Soares

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

Orientador: Prof. Doutor Cláudio Monteiro

Junho de 2010

Resumo

Na estratégia nacional para a Energia 2020, aprovada em Maio de 2010, Portugal estabeleceu a meta de 20% para a melhoria da eficiência energética no consumo final de energia em conformidade com o plano 20-20 para 2020 da União Europeia.

A definição deste objectivo é consequente de um conjunto de políticas nacionais anteriores como a aprovação do Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) que, em 2008, introduziu para o sector da indústria um novo regulamento denominado Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE).

O resultado da aplicação do SGCIE passa pela formalização do Acordo de Racionalização de Consumos de Energia (ARCE) entre a Direcção Geral de Energia e Geologia e o operador da instalação de consumos intensivos de energia (CIE). O ARCE prevê a redução de indicadores de eficiência que necessitam, naturalmente, de ser medidos e verificados. No âmbito desta dissertação, foi estudada a aplicação do Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP, da sigla inglesa) ao SGCIE, analisando, primeiramente, a possibilidade de utilização de metodologias de medição e verificação (M&V) e consequentes benefícios, quer nos indicadores quer nas medidas de racionalização de energia (MRE).

Do estudo da compatibilidade das normas e procedimentos do SGCIE com o IPMVP, foi desenvolvido um plano de M&V tipo aplicável a qualquer instalação de CIE auditada no âmbito do regulamento. O documento resultante não será um plano para cada MRE como habitual no IPMVP, mas especificará a avaliação do desempenho energético de todas as MRE's e indicadores do SGCIE num único plano de M&V.

Palavras-chave: Medição & Verificação, planos de Medição & Verificação, consumos intensivos de energia, eficiência energética.

Abstract

In the national strategy for the Energy 2020, approved in May 2010, Portugal has established the goal of 20% for the energetic efficiency improvement on the final energy consumption along-side with the plan 20-20 for the European Union of 2020.

The definition of this objective is the cause of a grouping of previous national policies like the approval of the National Action Plan for the Energetic Efficiency - ‘Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE)’, that has introduced in 2008, for the industry sector a new regulation named Management System of the Intensive Energy Consumption - ‘Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE)’.

The result of the application of the SGCIE goes through the formalization of the Rationalization of Energy Consumptions Agreement - ‘Acordo de Racionalização de Consumos de Energia (ARCE)’ between the General Direction of Energy and Geology - “Direcção Geral de Energia e Geologia” and the installation operator of Intensive Energy Consumptions - ‘Consumos Intensivos de Energia (CIE)’. The ARCE predicts the reduction of efficiency indicators that need, naturally, to be measured and verified. On the context of this dissertation, was studied the usage of the International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) to the SGCIE, analyzing, on the beginning, the possibility of the usage of methodologies of measurement and verification (M&V) and following benefits, either on the indicators or the Energy Conservation Measures - ‘Medidas de Racionalização de Energia (MRE)’.

From the study of the SGCIE standards and procedures compatibilities with the IPMVP, was developed a standard M&V plan applicable to any CIE installation. The resulting document will not be a plan to each MRE as usual on the IPMVP, but will specify the energetic performance evaluation of all the MREs and SGCIE indicators in a unique M&V plan.

Keywords: Measurement & Verification, Measurement & Verification plans, Intensive energy consumptions, energetic efficiency.

Agradecimentos

Dirijo o meu primeiro agradecimento a Quem as palavras de gratidão serão sempre poucas, a Quem devo a alegria, a fortaleza e a serenidade. Obrigado Jesus.

Presto também o meu sincero reconhecimento a todas as pessoas sem as quais não teria atingido esta última etapa enquanto estudante universitário:

Aos meus pais pelo apoio incondicional, pelo exemplo, pelos diversos sacrifícios, mas principalmente pelo amor com que me educaram.

Ao professor Doutor Cláudio Monteiro pela orientação, disponibilidade, criatividade e boa-disposição, quer durante o período de elaboração desta dissertação como ao longo de todos estes anos.

Ao professor Doutor Carlos Araújo Sá e ao Eng. Jorge Oliveira pela infindável paciência e disponibilidade, assim como pelas sugestões e críticas que enriqueceram esta dissertação.

À minha irmã Cláudia e ao meu cunhado António pela compreensão, apoio e conselhos, não esquecendo, claro, o pequeno “traquina” cuja alegria contagiante foi sempre um tónico para os momentos de maior pressão.

À malta da sala, ao Paulo, ao Sérgio, ao Bruno, ao Suíço, ao Barbas, ao Filipe, ao Mauro e ao Miguel com os quais partilhei todos os bons e menos agradáveis momentos neste semestre.

Aos meus amigos pelas alegrias, conselhos e orientações e ainda por todos os momentos inesquecíveis vividos nestes anos. Agradeço em particular ao Neiva e Japan pela paciência extra neste semestre.

A todos de quem gosto, e que fazem parte da minha vida, Bem-Hajam.

“A vida encolhe-se ou expande-se proporcionalmente à nossa coragem.”

Anais Nin

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 da tese	4
Capítulo 2	5
Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP)	5
2.1- Evolução histórica dos protocolos de Medição e Verificação	5
2.2- Medição e Verificação.....	6
2.2.1- - Período de Consumo de Referência	8
2.2.2- - Período de Reporte	8
2.2.3- - Fronteiras de Medição.....	8
2.3- Definição do IPMVP	9
2.3-1. - Plano de M&V	9
2.4- Opções do IPMVP.....	10
2.4-1. Breve referência às Opções do IPMVP	10
2.4-2. Medição isolada da MRE.....	10
2.4-3. Opção A.....	11
2.4-4. - Opção B.....	12
2.4-5. Escolher a opção A ou B	12
2.4-6. - Opção C.....	12
2.4-7. - Opção D.....	13
2.5- Plano de Medição e Verificação	14
2.5-1. - Referência geral aos planos de M&V	14
2.6- Incerteza na Medição e Verificação.....	15

2.6-1. - Amostragem	16
Capítulo 3.....	19
SGCIE - Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia	19
3.1- Breve referência histórica	19
3.2- Enquadramento	20
3.3- Sobre Eficiência Energética.....	21
3.4- SGCIE - Aplicação e âmbito	22
3.5- Organização do SGCIE	23
3.6- Operador de instalações de CIE	23
3.7- Registo da Instalação de CIE.....	24
3.8- Auditorias energéticas.....	24
3.8-1. - Definição e objectivos	24
3.8-2. - Condições de realização.....	24
3.8-3. - Elaboração	25
3.8-4. - Medição e Estimativa	26
3.9- Plano de Racionalização do Consumo de Energia	26
3.9-1. Indicadores de eficiência	26
3.9-2. Metas e medidas de racionalização de energia	27
3.9-3. - Aprovação do PREn	28
3.9-4. - Controlo de execução e progresso do ARCE	28
3.10-Reconhecimento de Técnicos ou Entidades	29
3.11-Isenção de ISP e Incentivos	29
3.12-Taxas Penalidades e Coimas.....	30
Capítulo 4.....	31
Medição e Verificação no SGCIE	31
4.1- Análise crítica dos Indicadores de eficiência do SGCIE e de processos de Medição e Verificação	31
4.1-1. - Intensidade carbónica (IC)	31
4.1-2. - Indicador de Intensidade Energética (IE)	34
4.1-3. - Consumo específico de energia (CEE)	36
4.1-3.1. - Medição do desempenho energético e do potencial de eficiência sem investimento	40
4.2- Introdução da Medição e Verificação (M&V) no SGCIE	44
4.2-1. - Medição na auditoria.....	44
4.2-1.1. Identificação de parâmetros caracterizadores do consumo.....	45
4.2-1.2. Definição da fronteira de medição.....	46
4.2-1.3. Duração do período de medição	47
4.2-2. - Justificação dos desvios	47
4.2-3. Incerteza nos resultados e cálculo da poupança	48
4.2-4. Uniformização de procedimentos e reporte de informação	50
4.3- Princípios do IPMVP e seu enquadramento no SGCIE	51
4.4- Notas Finais	53
Capítulo 5.....	55
Definição de Planos de Medição e Verificação aplicados ao SGCIE.....	55
5.1- Introdução.....	55
5.2- Conteúdo de um plano de Medição e Verificação	56
5.2-1. - Medição e Verificação das Medidas de Racionalização de Energia (MRE's)	56
5.2-1.1. - Notas sobre a estrutura do plano e adaptação ao SGCIE.....	61
5.2-2. - Plano M&V de toda a instalação.....	61
5.3- Caso Prático.....	64
Capítulo 6.....	77
Conclusões	77

Referências.....	81
------------------	----

Lista de figuras

Figura 2.1 - Poupança de energia e conceitos do IPMVP relacionados [30]	7
Figura 4.1 - Fábrica A com a actuação da 1. ^a e 2. ^a linhas de produção	37
Figura 4.2 - Características de produção das fábricas A e B.	38
Figura 4.3 - Características de produção das fábricas C e D.	38
Figura 4.4 - Desempenho energético da fábrica A entre 2006 e 2009.	40
Figura 4.5 - Desempenho energético da fábrica C entre 2006 e 2009.	41
Figura 4.6 - Desvio Absoluto do Desempenho Energético (DADE) das fábricas A, B, C e D.	42
Figura 4.7 - Característica de produção do sector das fábricas A, B, C e D, definindo também o valor da meta DADE.	43
Figura 4.8 - Exemplo de fronteira de medição para um projecto de melhoria de uma central chiller.	47

Lista de Tabelas

Tabela 4.1 - Estudo da influência no valor de IC da redução dos combustíveis e fontes de energia.	33
Tabela 4.2 - Factores de emissão das fontes de energia e combustíveis utilizados para o estudo presente na tabela 4.1.	33
Tabela 4.3 - Variações médias entre anos consecutivos do Valor Acrescentado Bruto, em percentagem e em unidades monetárias (u.m.)	35
Tabela 4.4 - Valores de DE e CEE para a fábrica A, evidenciando as variações entre anos consecutivos	41
Tabela 4.5 - - Valores de DE e CEE para a fábrica C, evidenciando as variações entre anos consecutivos.	42
Tabela 5.1 - Tabela resumo das MRE's a aplicar no Plano de M&V para o exemplo da fábrica de compostos.....	67

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas

ADENE	Agência para a Energia
ARCE	Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia
CEE	Consumo Específico de Energia
CIE	Consumos Intensivos de Energia
CMVP	Certified Measurement and Verification Professional
CV	Coeficiente de variância
DADE	Desvio absoluto do desempenho energético
DDC	Diagramas de carga
DE	Desempenho energético
DGAIEC	Direcção-Geral das Alfândegas e Impostos Especiais sobre o Consumo
DGEG	Direcção Geral de Energia e Geologia
EVO	Efficiency valuation organization
E.Eléctrica	Energia eléctrica
ESCO	Empresa de serviços de energia (Energy Service Company)
GEE	Gases de efeito de estufa
IC	Intensidade Carbónica
IE	Intensidade Energética
ISP	Imposto sobre os produtos petrolíferos e energéticos
IPMVP	Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético
MRE	Medida de racionalização de energia
M&V	Medição e verificação
PNAEE	Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética
POC	Plano Oficial de Contabilidade
PREn	Plano de Racionalização do Consumo de Energia
PRI	Período de retorno do investimento
Prod	Produção
Ref	Referência
REP	Relatório de execução e progresso
RGCE	Regulamento de Gestão do Consumo de Energia
SGCIE	Sistema de gestão dos consumos intensivos de energia

VAB	Valor acrescentado bruto
VEV	variador electrónico de velocidade.

Lista de símbolos

W	Watt
kWh	Quilowatt-horas
tep	Toneladas equivalentes de petróleo
m ³	Metros cúbicos
ton	Tonelada
t	Parâmetro da distribuição de t de student
EP	Erro padrão
σ	Desvio padrão

Definições

Fronteira de medição:

Limite imaginário estabelecido à volta do equipamento e/ou sistemas para separar aqueles que são relevantes para a determinação da *poupança* daqueles que não o são [6].

Instalação:

Um edifício ou local industrial contendo vários sistemas que utilizam *energia* [6].

Medição e Verificação (M&V):

Processo de utilização de medições para determinar correctamente a *poupança* real dentro de uma instalação individual. A *poupança* é determinada, comparado o consumo medido antes e depois da implementação de um projecto, fazendo os ajustes adequados para as alterações nas condições [6].

Período do consumo de referência:

O período de tempo escolhido para representar todos os ciclos de funcionamento da *instalação* ou sistema antes da implementação de uma *MRE* [6].

Período de reporte:

Período de tempo que se segue à implementação de uma *MRE*. Este período deve ser suficientemente longo para reflectir todos os modos de funcionamento normal de um sistema ou *instalação* com operações variáveis [6].

Poupança de energia:

Quantidade de energia economizada calculada pela medição e/ou estimativa do consumo antes e após a aplicação de uma ou mais medidas de melhoria da eficiência energética [22].

Período de retorno do investimento:

Tempo necessário para que o custo do investimento inicial se anule com os proveitos acumulados.

Relatório final:

Relatório entregue à ADENE após o término da auditoria, onde estão incluídas todas as informações do trabalho de campo e também o PREn com o respectivo programa de implementação das medidas de eficiência.

Capítulo 1

Introdução

1.1 - Enquadramento

A eficiência energética é mais do que nunca uma prioridade na agenda internacional, constituindo, de entre as soluções existentes, o caminho mais rentável a curto prazo para uma maior segurança energética, menores emissões de gases de efeito estufa e, simultaneamente um meio de reduzir a pressão sobre energia e os recursos. A Agência Internacional de Energia (AIE) estima que a melhoria da eficiência energética poderia contribuir com 47% de redução de emissões de CO₂, valor potencialmente realizável até 2030 [3].

A União Europeia adoptou oficialmente o chamado “plano 20-20”, de Dezembro de 2008, que conduz ao estabelecimento de metas para 2020. Nele prevê, para esse horizonte temporal, uma redução de 20 por cento em gases de efeito estufa (GEE) em relação aos níveis de 1990, o aumento de 20 por cento na utilização de energias renováveis, e um corte de igual valor percentual no consumo de energia através da melhoria da eficiência energética. Para atingir o objectivo de 20 por cento, a nova directiva estabelece metas obrigatórias nacionais a serem alcançadas pelos Estados-membros [4].

No âmbito da estratégia nacional para a energia 2020, aprovada em Abril de 2010, Portugal adopta o mesmo objectivo europeu relativamente à eficiência energética, concretizando através de, entre outras medidas, a criação do fundo de eficiência energética e a revisão e actualização do Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE) [2].

Dois anos antes, em 2008, o governo português criou o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) com o objectivo de promover a eficiência das Instalações de Consumos Intensivos de Energia (CIE), e contribuir ainda para a diminuição do valor de emissões de gases com efeito de estufa. Procedeu também ao alargamento da sua aplicação às instalações com consumos intensivos anuais superiores a 500 tep/ano [19].

O SGCIE prevê a realização obrigatória e periódica de auditorias energéticas que têm por finalidade obter a respectiva caracterização energética dos equipamentos e sistemas de uma instalação de CIE e a identificação de medidas que conduzam à elaboração e definição de um Plano de Racionalização do Consumo de Energia (PREn) [19]. Uma vez validado o plano pela

2 Introdução

Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), dá-se o estabelecimento, entre esta entidade e o operador da instalação, do Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE).

Do ARCE constam medidas de racionalização de energia (MRE) relativas a modificações ou substituições nos equipamentos ou na instalação cuja implementação visa garantir o cumprimento das metas de redução nos indicadores de eficiência do SGCIE. Em caso de incumprimento, os desvios apurados no final do último ano de actividade do ARCE poderão implicar a aplicação de penalidades ao operador no valor de 50€ por tonelada equivalente de petróleo (tep) não evitada, cujo montante pode ser agravado em caso de reincidência [19].

Aumentar a desejada eficiência energética implica aplicar as MRE's, acompanhar a sua evolução, e sensibilizar os utilizadores das instalações consumidoras intensivas de energia para o seu uso racional. Implementar estas medidas implica fazer investimentos e é fundamental ter a certeza da obtenção de poupanças face aos investimentos previstos.

Não sendo possível medir directamente a poupança, surge 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 [5].

Os procedimentos de medição e verificação inicialmente usados para identificar anomalias no desempenho de equipamentos ou sistemas, que de outra forma não seriam perceptíveis, são, actualmente, fundamentais ao cálculo de risco dos contratos de desempenho energético (EPC, da sigla inglesa), fortemente dependentes da precisão do valor das poupanças. Foram, inclusive, as empresas de serviços de energia (ESCO, da sigla inglesa) quem motivou a uniformização das várias metodologias de M&V, sendo o Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP, da sigla inglesa), o protocolo mundialmente mais utilizado por estas empresas [28],[6].

A utilização do IPMVP tem por base princípios de que devem ser respeitados, os quais não são, porém, motivo para a definição de uma estrutura rígida transversal a qualquer projecto de eficiência. Consequente, de acordo com a situação, o protocolo fornece quatro opções para a determinação da poupança (A, B, C e D): As primeiras duas para projectos onde é necessária medição isolada de um equipamento ou sistema, a opção C, para M&V de toda a instalação e, por último a opção D para a simulação dos dados necessários [6].

Para qualquer projecto de avaliação de desempenho energético, o IPMVP define um plano de M&V, onde se encontra compilada toda a informação relativamente aos métodos, condições e procedimentos de análise dos dados tanto no período antecedente à implementação da(s) medida(s) de racionalização de energia (MRE) como, posteriormente, no período de verificação da poupança [6].

O plano define detalhadamente, de forma transparente e precisa toda a estratégia de M&V, constituindo, assim, um documento que assegura a qualidade de todo o processo e dos resultados obtidos [29].

1.2 - Motivação

Em 2005 é aprovada a reforma do Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE), então em vigor desde 1982, tendo por objectivo a sua compatibilização com as novas exigências ao nível das emissões de gases de efeito estufa, com a necessidade de promover acordos voluntários para a utilização racional de energia e com a revisão da fiscalidade do sector energético [32].

Da revisão do RGCE, surge em 2008 o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) que tem como objectivo a promoção da eficiência energética e monitorização dos consumos de instalações de consumos intensivos de energia (CIE) [19]. Neste sentido, estabelece a utilização de indicadores de eficiência:

- Intensidade energética
- Intensidade carbónica
- Consumos específicos de energia

Tendo em vista a redução dos consumos de energia, para cada um dos indicadores são estabelecidas metas a atingir num período de 6 ou 8 anos. A diferença na extensão do projecto de eficiência está relacionada com a inclusão no regulamento das médias empresas com consumos de energia anual superiores a 500 toneladas equivalentes de petróleo (500 tep/ano). Desde a entrada em vigor, em 2008, até a Maio de 2010, foram efectuados cerca de 800 novos registos das instalações com o consumo anual referido [33].

Contudo, o SGCIE não se distingue pelos novos indicadores, metas e empresas abrangidas.

O regulamento define um conjunto de directrizes para o levantamento e caracterização energético das instalações, como estabelece também a obrigatoriedade da elaboração do programa de implementação de medidas de racionalização de energia (MRE) - a constar no PREn - que garantirá o cumprimento das metas [25].

Contudo, e em conformidade com o objectivo de revisão da fiscalidade na reforma do RGCE, o SGCIE definiu um conjunto de procedimentos de avaliação das entidades e técnicos credenciados pelas informações reportadas e vincula o operador da instalação ao Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE), definindo penalidades em caso de incumprimento [19].

Por conseguinte, processos de Medição e Verificação (M&V) fiáveis e seguros dos indicadores, tanto no período de auditoria como durante toda a extensão do programa de implementação das MRE's, são determinantes para o sucesso do ARCE.

O Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP) estipula um conjunto de metodologias e procedimentos para a M&V de forma a determinar com rigor e precisão relativa o valor da poupança [9]. Mediante as condições do projecto de eficiência, o IPMVP dispõe de processos de escolha da opção de M&V mais adequada, possibilitando a medição, estimativa ou até simulação do consumo e dos parâmetros que o influenciam [6].

A M&V assume um papel central na monitorização do desempenho energético da instalação e nas consequentes MRE's propostas pela equipa auditora e contratualizadas no ARCE. Deste modo, a falta de clareza no processo de medição, a falta de precisão colocam em risco os investimentos, o desempenho laboral do operador (da instalação) e a credibilidade do regulamento.

1.3 - Objectivos

No âmbito geral, a presente dissertação tem como objectivo primeiro o desenvolvimento de planos de Medição e Verificação (M&V) aplicáveis às instalações abrangidas pelo Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE).

Uma vez pretendendo a adopção do Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP) ao regulamento, a avaliação do objectivo mencionado é

decomposta em várias análises essenciais para a sua concretização. É, assim, também objectivo da dissertação:

- Estudo crítico dos indicadores de eficiência do SGCIE.
- Apresentação de metodologias de avaliação de desempenho energético aplicadas a instalações com consumos intensivos de energia (CIE).
- Introdução dos processos de M&V no Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia tanto ao nível dos indicadores de eficiência como nos procedimentos para a realização das auditorias energéticas e implementação, controlo e acompanhamento das medidas de racionalização.
- Análise do enquadramento do SGCIE aos princípios do IPMVP.
- Estudo da capacidade de integração e adaptação do SGCIE aos planos de M&V do IPMVP.

1.4 - Estrutura da tese

Esta dissertação está estruturada em 6 capítulos, sendo a introdução o primeiro desses.

No segundo capítulo é realizada uma apresentação do Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP), onde são especificados procedimentos para o cálculo da poupança, as opções do protocolo para os processos de Medição e Verificação (M&V) e uma breve referência a planos de M&V segundo o protocolo. Por fim são referidas técnicas no tratamento de dados por amostragem.

No terceiro capítulo é descrito o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE), analisando o contexto da sua introdução, os procedimentos, os intervenientes e mecanismos de controlo na fiscalização do cumprimento das normas definidas.

No quarto capítulo, numa primeira parte são efectuadas críticas, estudos e sugeridas alterações aos indicadores do SGCIE, estando ainda especificadas metodologias de desempenho energético alternativas ao do regulamento nacional. O capítulo continua com uma segunda parte onde são exploradas as possibilidades de enquadramento do IPMVP no SGICE, finalizando-o com a análise dos princípios do protocolo aplicados no regulamento nacional.

No seguimento das análises efectuadas no capítulo anterior, no quinto capítulo são apresentados detalhadamente os vários tópicos de um plano de Medição e Verificação (M&V) sendo estudada a sua conjugação às normas e características do SGCIE. O capítulo prossegue com um caso prático concretizando uma aplicação do referido plano de M&V a instalações de consumos intensivos de energia.

Finalmente, na última parte, capítulo 6, são apresentadas as diversas conclusões obtidas através da presente dissertação.

Capítulo 2

Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP)

2.1- Evolução histórica dos protocolos de Medição e Verificação

No passado, os projectos de eficiência energética eram pouco atractivos por consequência da substancial falta de precisão nos resultados obtidos. Neste sentido, nos anos noventa, surgiram tentativas de harmonização e de cooperação entre agências e especialistas na área de eficiência energética [7] e o aparecimento e desenvolvimento das empresas de Serviços de Energia (ESCO, da sigla inglesa), veio dar mais um esforço no sentido de normalizar as metodologias de Medição e Verificação (M&V) [8]. Nesta continuidade, surgiu em 1996, a publicação *North American Energy Measurement and Verification Protocol* (Protocolo Norte-Americano de Medição e Verificação de Energia), modificada em Dezembro de 1997 e intitulada *International Performance Measurement and Verification Protocol* (IPMVP - Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético). Após constantes actualizações, a sua versão mais recente é de 2009 [6].

Este Protocolo define de forma consistente e fidedigna as práticas comuns de medição, cálculo e reporte de poupança obtida por projectos de eficiência energética. O IPMVP apresenta quatro opções de Medição e Verificação (M&V) e avalia de forma, segura e transparente, o reporte de poupança obtido por cada projecto. As metodologias de M&V incluem estudos no local, medição de energia, monitorização de variáveis independentes, cálculos e apresentação de relatórios [6].

Especificamente para projectos de eficiência em instalações governamentais, em 1996 foi publicado o U.S. Department of Energy's Federal Energy Management Program (FEMP), a partir do qual foram retiradas metodologias de M&V destinadas a edifícios do governo para o IPMVP [6], [9].

A ASHRAE (*Measurement of Energy and Demand Savings*) fornece pormenores complementares ao IPMVP, focalizando o aspecto tecnológico da relação entre as medições e o equipamento a ser examinado. No entanto, o IPMVP realça uma variedade de tópicos de

M&V na relação que estabelece com os contratos de risco das ESCO. Existe, no entanto, uma sobreposição de estrutura dos dois documentos [6] [9].

Baseando-se num trajecto contínuo de aperfeiçoamento e com a colaboração de uma grande variedade de profissionais de M&V de todo o mundo, em mais de uma década, as versões sucessivas do IPMVP provaram ser eficazes na abordagem de pontos críticos que surgem em cada transacção de eficiência energética. A estrutura flexível do IPMVP das opções de M&V permite aos profissionais conceber o plano certo de M&V para cada situação e trazer confiança àqueles que desejam obter os benefícios [6].

2.2- Medição e Verificação

Uma vez que a poupança não pode ser medida directamente, por representar a ausência de consumo, são utilizados processos de Medição e Verificação (M&V) que consistem na utilização de medições para determinar correctamente a economia de energia real [6].

Para que se verifique a redução do consumo e consequentemente a diminuição nos custos energéticos da instalação são aplicadas Medidas de Racionalização de Energia (MRE) como a substituição de motores, a optimização de uma central chiller, a definição de planos de manutenção, entre outras [10], [31].

Há princípios fundamentais de uma boa prática de M&V que devem ser seguidos, nomeadamente (ver também 4.3):

- A determinação da poupança deve medir os parâmetros de desempenho energético mais importantes, ou menos conhecidos, enquanto outros parâmetros menos críticos ou previsíveis podem ser calculados.
- Todas as actividades de M&V devem ser clara e completamente divulgadas. A divulgação completa deve incluir a apresentação de todos os elementos definidos para o conteúdo de um Plano de M&V e de um relatório de poupança.
- Os relatórios de M&V devem ser tão precisos quanto o orçamento de M&V o permita. Os custos de M&V devem normalmente ser mais baixos em relação ao valor monetário da poupança a ser avaliada.
- 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 [6].

A poupança de energia de uma instalação determina-se pelo resultado obtido entre consumo energético verificado antes e o verificado após a aplicação das medidas de racionalização energética (MRE). Estes consumos são metodologicamente designados de consumo de referência de energia (o primeiro) e de consumo do período de reporte da energia medida (o posterior).

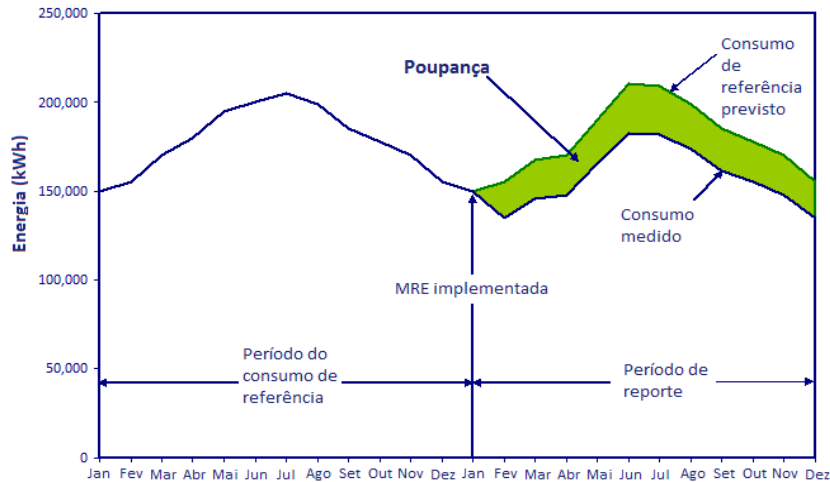


Figura 2.1 - Poupança de energia e conceitos do IPMVP relacionados [30]

A poupança, nem sempre pode ser calculada pela diferença entre o valor da medição no período de reporte e o consumo de referência que seria espectável para o mesmo período, como mostrado na figura 2.1. Podem ocorrer alterações na utilização de energia, que não estejam relacionadas com a implementação das MRE, mas justificadas quer por factores exteriores como condições meteorológicas, ou por mudanças periódicas características ao consumo, como por exemplo a redução da produção nos meses de verão de uma instalação industrial [6]. Caso se verifiquem, o consumo do período de referência terá de ser ajustado.

Assim, a poupança decorrente do cálculo relativo ao período antes e após a aplicação da MRE será a que resulta da equação seguinte:

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

Um cálculo alternativo será a “poupança normalizada”, que ao invés de ajustar o consumo do período de referência às condições do período de reporte, como na equação 2.1, são definidas um conjunto de condições normais de um período de consumo típico (podendo ser ou não o período do consumo de referência) que servirão de base para o ajuste do consumo do período de reporte. A determinação da poupança pela equação 2.1, é a mais usual, dado o interesse para o proprietário da instalação no cálculo do consumo evitado, isto é, qual seria o acréscimo de energia se a acção de eficiência energética não tivesse ocorrido. Também a dificuldade no estabelecimento de condições normais condiciona a escolha desta alternativa [6], [27].

O IPMVP prevê quatro opções (A, B, C e D) de Medição e Verificação (M&V), que são métodos diferentes e específicos de abordar e determinar os consumos e as poupanças obtidas pelos instrumentos de racionalização e eficiência energética. A selecção de cada uma destas opções depende da melhor adequação às características de cada contrato de desempenho energético, às exigências de rigor e precisão requerido para a determinação das poupanças e é dependente da complexidade da MRE [6].

2.2.1- - Período de Consumo de Referência

Define-se o período de consumo de referência como o período de tempo considerado durante o funcionamento da instalação ou sistema antes da implementação de uma MRE. Este período pode ser curto, pelo 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.

Deve ser seleccionado cuidadosamente o período do consumo de referência (e o período de reporte, tratado a seguir), de modo a:

- Representar todos modos de funcionamento da instalação. Deve cobrir um ciclo de funcionamento completo desde o consumo máximo de energia ao mínimo.
- Representar relativamente bem todas as condições de funcionamento de um ciclo de funcionamento normal.
- 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 da aplicação da MRE. Períodos mais anteriores no tempo poderão não reflectir as condições que existiam antes da aplicação da MRE que se pretende medir [6].

2.2.2- - Período de Reporte

O período de reporte corresponde ao tempo que se segue à implementação de uma MRE. Este pode ser mais curto que o definido para o período do consumo de referência, englobando desde o tempo de uma medição instantânea de uma quantidade constante, a ser suficientemente longo para reflectir todos os modos de funcionamento normal de um sistema ou instalação com operações variáveis. Mediante o projecto, pode também coincidir com o período de retorno do investimento na MRE.

Para além do exposto, a duração de qualquer período de reporte deve considerar a probabilidade de degradação da poupança ao longo do tempo [6].

2.2.3- - Fronteiras de Medição

Todos os consumos de energia do equipamento ou sistemas dentro da fronteira de medição devem ser medidos ou estimados, quer os consumos de energia estejam ou não dentro do limite. O limite pode ser tão estreito quanto o fluxo de energia através de um tubo ou condutor eléctrico, ou tão largo quanto o consumo total de energia de um ou muitos edifícios.

A poupança pode ser determinada para toda uma instalação ou apenas para parte dela, dependendo dos objectivos a reportar.

No primeiro caso, os contadores que medem o fornecimento de energia de toda a instalação podem ser usados para avaliar o desempenho energético e a poupança. A fronteira de medição engloba toda a instalação, devendo aplicar-se a opção C do IPMVP.

Quando se pretende determinar a poupança num equipamento deve-se estabelecer uma fronteira de medição em torno do mesmo. Assim, as necessidades de energia do equipamento serão determinadas dentro do limite. Neste caso, a metodologia utilizada aponta para as opções A ou B de medição isolada da MRE, previstas no IPMVP [6].

2.3- Definição do IPMVP

O Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP) é um conjunto de documentos em constante evolução destinados a promover os investimentos na eficiência energética, a desenvolver e difundir ferramentas que quantifiquem os ganhos resultantes da eficiência energética.

Define a metodologia e sugere boas práticas para determinar a eficácia dos projectos de eficiência energética. Estes termos e práticas ajudarão os gestores a preparar Planos de M&V, que perspectivam como a poupança irá ser medida em cada projecto. O Plano de M&V bem sucedido permite a verificação, ao exigir relatórios transparentes do desempenho energético actual do projecto. O IPMVP assume com grande importância princípios de definições claras de terminologia e de métodos consistentes e transparentes. Sustenta ainda que os pormenores podem diferir de projecto para projecto, mas as opções e métodos que foram implementados com sucesso em milhares de projectos e programas em dezenas de países dão garantia de credibilidade e confiança [28].

O IPMVP não é concretamente uma norma e, consequentemente, não existe um procedimento de conformidade formal para este documento.

A adesão ao IPMVP requer a preparação para um projecto específico de um Plano M&V, que seja consistente com a terminologia do IPMVP. Devem ser designadas as opções do IPMVP a ser utilizadas, os métodos de medição e de análise a ser usados, os procedimentos de garantia de qualidade a ser seguidos e a(s) pessoa(s) responsável pela M&V [6].

O IPMVP promove investimentos eficazes através das seguintes actividades:

- O IPMVP 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 sem expressão contratual.
- O IPMVP fornece métodos, com diferentes níveis de custo e exactidão, para determinar poupanças para toda a instalação ou para Medidas individuais de Racionalização de Energia (MRE).
- O IPMVP especifica o conteúdo de um Plano de Medição e Verificação (Plano de M&V) que respeita os princípios fundamentais de M&V definidos no protocolo. Deve ser desenvolvido um Plano de M&V para cada projecto por um profissional qualificado.
- O IPMVP aplica-se a uma grande variedade de instalações, incluindo edifícios novos, edifícios já existentes e processos industriais [6].

2.3-1. - Plano de M&V

A preparação de um plano de M&V é uma etapa indispensável para a determinação da poupança. Define projectos específicos de medição e de verificação. A planificação antecipada garante que todos os dados necessários para a determinação da poupança estejam disponíveis após a implementação das MRE's, dentro de um orçamento aceitável [6].

É conveniente registar e fazer documentação dos dados de consumo de referência e dos detalhes relativos às MRE's para referência futura, no caso das condições se alterarem ou das MRE's falharem. É igualmente útil que essa documentação esteja acessível e fácil de compreender pelos verificadores quando vier a ser necessária [6].

2.4- Opções do IPMVP

2.4-1. Breve referência às Opções do IPMVP

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 [6].

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, de custo e metodologia.

A opção seleccionada resulta das condições apresentadas, nomeadamente o local de fronteira de medição. Se o que se pretende é determinar a poupança ao nível da instalação, então a opção C ou D pode 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) [6].

2.4-2. Medição isolada da MRE

A medição isolada das alterações permite o estreitamento da fronteira de medição de modo a reduzir o esforço requerido para monitorizar variáveis independentes e factores estáticos, quando as medidas afectam apenas uma parte da instalação. Mas é preciso ter em consideração que limites mais pequenos do que toda a instalação, requerem habitualmente aparelhos de medição adicionais na fronteira de medição. Fronteiras de medição mais restritas também introduzem a possibilidade de fuga através de efeitos interactivos não medidos.

Considerando que o resultado da medição é inferior a toda a instalação, os resultados das técnicas de medição isoladas das MRE não podem ser relacionados com o consumo de energia total da instalação mostrado nas facturas da empresa de serviços energéticos [6].

A medição isolada da MRE, pela opção A ou B do IPMVP, requer habitualmente a utilização de contadores especiais, nomeadamente portáteis em regime de curto prazo, ou em permanência [13]. Estes contadores podem ser instalados durante uma auditoria da energia para ajudar a caracterizar o consumo de energia antes da concepção da MRE ou para medir o desempenho energético do consumo de referência para um Plano de M&V. Sendo suplementares ou acrescentados à fronteira de medição podem ser usados para outros fins sobre o funcionamento ou gestão da instalação ou ao equipamento, optimização, facturação, etc[6].

No entanto, a contagem contínua fornece uma maior certeza da poupança reportada e mais dados acerca do funcionamento do equipamento. Esta informação pode ser utilizada

para melhorar ou otimizar o funcionamento do equipamento numa base de tempo real, melhorando deste modo o benefício da própria MRE [6].

2.4-3. Opção A

Através da opção A, a poupança é determinada pela medição no terreno dos parâmetros chave do desempenho energético que definem o consumo de energia dos sistemas afectados pela MRE [6].

Os parâmetros que não são seleccionados para medição são estimados. As estimativas podem basear-se em dados históricos, especificações do fabricante ou avaliação da engenharia, sendo necessária a documentação da fonte ou justificação do parâmetro estimado [14]. Entretanto, o erro de poupança provável que surge da estimativa em vez da medição é avaliado.

Deste modo, a medição dos parâmetros chave pode resultar de um cálculo, usando uma combinação de medições de alguns parâmetros e estimativas de outros. Tais estimativas devem apenas ser utilizadas onde se possa verificar que a incerteza combinada de todas estas estimativas não prejudicará significativamente a poupança global reportada. É importante decidir quais são os parâmetros a medir e quais são os que devem ser estimados, tendo em consideração a contribuição de cada parâmetro para a incerteza global da poupança reportada [6].

Sempre que um parâmetro, conhecido por variar independentemente, não for medido na instalação durante os períodos do consumo de referência e de reporte, o parâmetro deve ser tratado como uma estimativa [6].

A avaliação das poupanças pode ser efectuada através de métodos de engenharia ou monitorização a curto prazo [15], bem como os cálculos de engenharia ou modelação matemática podem ser utilizados para verificar a importância dos erros na estimativa de qualquer parâmetro na poupança reportada [6].

A determinação da poupança com a Opção A pode ser menos dispendiosa do que relativamente as outras Opções, considerando que o custo de estimar um parâmetro é muitas vezes significativamente menor do que o custo da medição. No entanto, em algumas situações onde a estimativa é a única possibilidade, uma estimativa confiável pode ser mais cara do que se fosse possível a medição directa. A determinação dos custos para a Opção A deve ter em conta todos os elementos, nomeadamente a análise, a estimativa, a instalação dos contadores e o custo actual para ler e registar dados [6].

Resumindo, a opção A deve ser aplicada nomeadamente nas seguintes situações:

- Medição isolada de uma MRE,
- Quando as estimativas têm uma incerteza aceitável,
- Quando os parâmetros podendo ser estimados têm custos substancialmente menores que a sua medição, pela opção B,
- Quando a estimativa de parâmetros evita o ajuste motivado por alterações não periódicas dentro da fronteira de medição [6].

2.4-4. - Opção B

A Medição de todos os parâmetros, requer a medição de todas as quantidades de energia, ou de todos os parâmetros necessários para calcular a energia [6]. A opção B é indicada para as Medidas de Racionalização de Energia (MRE) com um perfil de carga variável. Os parâmetros chave bem como os factores operacionais (por exemplo, horas de ocupação num espaço e horas de utilização de um motor) são medidos em curto prazo, continuamente durante todo o período de reporte [15].

A poupança criada pela maior parte dos tipos de MRE's pode ser determinada através da Opção B. É calculada pela medição no terreno do consumo de energia do sistema afectado pela MRE. A frequência de medição vai desde o curto prazo a contínua e depende das variações esperadas na poupança e da duração do período de reporte [6].

Resumindo, a opção B deve ser aplicada nomeadamente nas seguintes situações:

- Métodos de medição isolada da MRE, onde a poupança ou as operações dentro da fronteira de medição são variáveis.
- Onde os contadores acrescentados para fins de isolamento serão empregues para outros fins (ex.: a informação operacional ou a facturação de um arrendatário).
- Onde a medição de todos os parâmetros é menos dispendiosa do que a simulação na Opção D.

2.4-5. Escolher a opção A ou B

O grau de dificuldade e os custos aumentam em função do aumento da complexidade da medição. Os métodos da Opção B são geralmente mais difíceis e dispendiosos do que os da Opção A. No entanto, a Opção B pode obter resultados mais precisos onde as cargas e ou os padrões de poupança são variáveis. Estes custos adicionais podem ser justificáveis se um promotor de contratos for responsável por todos os factores que influenciem a poupança de energia [6].

2.4-6. - Opção C

Para projectos onde a poupança esperada é grande comparada com as variações de energia aleatórias ou inexplicáveis que ocorrem ao nível de toda a instalação, a opção mais indicada é a opção C. Assim, se a poupança é grande comparada com as variações inexplicadas nos dados de consumo de referência de energia, então será fácil identificar a poupança. Sendo que quanto mais longo for o período de reporte da poupança após a instalação da MRE, menos significativo é o impacto das variações inexplicáveis a curto prazo [6].

Este é um processo orientado para fazer medições e verificações em toda a instalação onde os sistemas de energia estão interactivos [15], isto é, medições contínuas do consumo de energia durante o período de reporte, onde a fronteira de medição inclui toda a instalação ou uma grande parte dela. Envolve 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 [6].

Esta opção determina a poupança colectiva de todos as MREs aplicados à parte da instalação monitorizada pelo contador de energia. Além disso, uma vez que os contadores de

toda a instalação são usados, a poupança reportada com a Opção C inclui os efeitos positivos ou negativos de todas as alterações feitas na instalação que não estão relacionadas com a MRE [6].

Uma outra condição para a aplicação da opção C é relativa ao valor da poupança. O IPMVP, sugere que apenas para projectos com poupanças superiores a 10% do consumo, se garantem as variações inexplicáveis de curto prazo e os possíveis erros de uma fronteira de medição tão extensa [6], [9].

Resumindo, a opção C tem melhor aplicação onde:

- O desempenho energético de toda a instalação será avaliado (não apenas das MRE's);
- Existem muitos tipos de MREs numa instalação;
- As MREs implicam actividades cujo consumo individual de energia é difícil de medir separadamente;
- 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, dada a magnitude dos efeitos interactivos ou interações entre MREs (este conceito é esclarecido em 4.2.1.1);
- 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, permitindo a modelização matemática por regressão ou outras técnicas [6].

2.4-7. - Opção D

A opção D, Simulação calibrada, consiste na aplicação de um software de simulação computadorizada para prever a energia da instalação tanto para o período de referência como para o período de reporte. Um método de simulação deve ser "calibrado" de modo a prever um padrão de energia que corresponda aproximadamente aos verdadeiros dados medidos. Estes elementos devem corresponder aos dados reais horários provenientes de facturas.

A opção D pode ser utilizada para diferentes fronteiras de medição, desde a avaliação de desempenho de cada MRE até à simulação da poupança de toda a instalação [6].

A Opção D é também a abordagem principal de M&V para avaliar as inclusões de eficiência energética na concepção de novas instalações [6].

A poupança determinada com a Opção D baseia-se em uma ou mais estimativas complexas de consumo de energia. A precisão da poupança depende do bom desempenho dos modelos de simulação do equipamento e da boa calibração do desempenho energético contabilizado. A calibração é obtida, verificando se o modelo de simulação prevê razoavelmente os padrões de energia da instalação, comparando os resultados do modelo a um conjunto de dados de calibração. Estes dados de calibração incluem dados de energia medidos, variáveis independentes e factores estáticos. A calibração de simulações de edifícios é feita habitualmente com 12 facturas mensais emitidas pelo comercializador de energia [6].

Para a opção D as aplicações são mais alargadas, referindo-se, nomeadamente:

- Verifica-se a ausência ou incerteza nos dados de energia do consumo de referência ou os dados de energia do período de reporte;
- 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 as seguir e ou avaliar o seu impacto no consumo de energia.
- Um profissional experiente em simulação de energia é capaz de recolher dados de entrada adequados para calibrar o modelo de simulação.
- A instalação e as MREs podem ser modeladas por software de simulação bem documentado.
- O software de simulação prevê dados medidos de calibração com uma precisão aceitável.
- Apenas o desempenho energético de um ano é medido, imediatamente após a instalação e comissionamento do programa de gestão de energia [6].

2.5- Plano de Medição e Verificação

2.5-1. - Referência geral aos planos de M&V

A Medição e Verificação (M&V) é o processo de aplicação de medidas para calcular de modo seguro a poupança real criada dentro de uma instalação por um programa de gestão de eficiência energética. Como mencionado anteriormente, a poupança não pode ser medida directamente, dado que representa a ausência de consumo de energia. A poupança é determinada comparando o consumo medido antes e depois da implementação das medidas previstas, fazendo ajustes relativos a alterações nas condições.

As actividades de M&V consistem em algumas ou em todas as acções seguintes:

- Instalação, calibração e manutenção de contadores,
- Recolha e tratamento de dados,
- Desenvolvimento de um método de cálculo e estimativas aceitáveis,
- Cálculos com dados medidos, e
- Reportar, garantia de qualidade e verificação de relatórios por terceiros [6].

Um plano de M&V deve incluir os métodos e instrumentos técnicos de medição e de verificação e considerar as condições específicas de cada projecto. Assim, deve considerar uma opção de Medição e Verificação que abranja as medidas de eficiência energética implementadas na instalação ou várias opções de M&V para avaliar as medidas aplicadas na instalação [11].

É aconselhável que seja elaborado um plano de M&V para determinada poupança. A planificação antecipada permite que os elementos necessários para definir a poupança estejam disponíveis após a aplicação das MREs, dentro de um orçamento viável [6].

De uma forma geral a elaboração de um plano de M&V deve:

- Fornecer uma visão geral da MRE e actividades de verificação:
No início do plano de M&V devem ser referidos os objectivos da implementação da MRE juntamente com as técnicas usadas para cada medição e opção do IPMVP seleccionada.
- Identificar correctamente as condições do período de consumo de referência:
Para a análise do consumo de referência, são referidas as condições de medição, as variáveis que o influenciam e informações sobre a duração do período de medição. Acrescentando ainda informação relativa aos procedimentos de análise de dados e modelização matemática.
- Definir todas as actividades no período de reporte e de cálculo da poupança:
No plano devem ser especificados procedimentos de análise de dados, duração do período de reporte, parâmetros para ajuste e estudo dos efeitos interactivos. Constam também procedimentos de garantia da qualidade das informações recolhidas e acompanhamento de situações que provoquem ajustes ao consumo e consequentemente no cálculo da poupança.
- Indicar a calendarização de relatórios e procedimentos de M&V periódicos;
- Indicar procedimentos e detalhes de inspecções anuais:
Sempre que a opção A seja escolhida é necessária a verificação da manutenção das condições de base das estimativas.
- Indicar os requisitos para relatórios de operação e manutenção [6], [11].

2.6- Incerteza na Medição e Verificação

A obtenção quer por medição ou por estimativa de dados tem associado um grau de incerteza, que afecta a determinação da poupança dos consumos de energia. Por sua vez, a definição da precisão e do intervalo de confiança dos resultados implica custos de medição e verificação que atenuarão as economias energéticas.

O equilíbrio não é facilmente determinável e como tal o IPMVP sugere que os custos de M&V médios anuais sejam no máximo 10% do valor médio anual da poupança [6]. O valor poderá ser adequado de opção para opção, visto que cada uma tem diferentes exigências [28]:

- Opção A: 1 - 5%;
- Opção B: 3 - 10%;
- Opção C: 1 - 3% (com contador instalado);
- Opção D: 3 - 10%.

Tendo por base as sugestões referidas, a determinação do nível de incerteza aceitável no processo de reportar a poupança é frequentemente uma questão que depende da necessidade de rigor do proprietário da instalação. No entanto, reduzir a incerteza requer mais ou melhores dados de funcionamento [11].

2.6-1. - Amostragem

A utilização de uma amostra da totalidade dos equipamentos ou acontecimentos para representar a população inteira poderá induzir erros relativos a variações dentro da população em estudo ou amostragem influenciada.

O conjunto de dados recolhidos varia mediante a precisão definida, tendo em atenção, como referido, os custos de M&V. Porém os processos de determinação da amostragem, são facilmente recalculáveis, permitindo aumentar ou diminuir o valor de incerteza, até encontrar um ponto de equilíbrio [6].

O IPMVP especifica metodologias para o cálculo do tamanho da amostra tanto utilizando o coeficiente de variância (CV) como a distribuição de t de student:

- Utilizando o coeficiente de variância, o número de dados a recolher (n), é dado por:

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

Onde,

z: intervalo de confiança estatístico;

CV: coeficiente de variância;

e: precisão definida;

n: tamanho da amostra.

Existem situações em que o técnico avaliador por experiência em outros processos de M&V, tem conhecimento de valores do coeficiente de variância mais aplicáveis para a situação em avaliação. Por exemplo, uma MRE relativa à iluminação, o número de dados a recolher para determinar as horas de ocupação, têm um CV=0,5 [29].

- t de student

$$EP = \frac{e \times poupança}{t} \quad (2.3)$$

Onde,

EP: erro padrão;

e: precisão;

Poupança: poupança de energia prevista;

t: valor da distribuição de t, de acordo com um intervalo de confiança definido.

O próximo passo será o cálculo do erro padrão:

$$\sigma = EP \times \sqrt{N} \quad (2.4)$$

Onde,

σ : desvio padrão

N : número de amostras a definir.

Este processo é útil, para casos de M&V de contagens periódicas, onde se pretenda definir o período do consumo de referência. Desta forma, o procedimento seguinte está relacionado com o estudo durante períodos definidos do desvio padrão.

Considerando, hipoteticamente, um período A são calculados os desvios padrão de cada um dos seus subperíodos (A_1 , A_2 , A_3), testando se possui um valor inferior à fórmula 2.4, onde N , é concretamente o total de leituras do período A . Até que a condição seja satisfeita, ou seja, obtido um período do consumo de referência com a precisão definida, são incrementados períodos de teste.

Capítulo 3

SGCIE - Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia

3.1- Breve referência histórica

A crise energética da década de 70 alertou o governo português para a necessidade de estabelecer medidas para atenuar os efeitos do agravamento dos custos do consumo de energia. Tornava-se necessário criar nos agentes económicos a sensibilidade para considerar e reflectir a energia como um factor de custo e apontar meios de intervenção que orientassem a gestão específica do consumo energético.

Através do Decreto-Lei n.º 58/82, de 26 de Fevereiro, o governo determinou as normas sobre gestão de energia, introduziu o princípio de que “a gestão da energia constitui um meio eficaz para minorar as dificuldades resultantes da crise energética, utilizando técnicas de custo não elevado, de fácil aplicação e de resultados positivos a curto prazo”[16]. E acrescentava que “os investimentos envolvidos traduzem-se em acções de economia de energia ao nível das empresas que os suportam, tornando-se afinal, a muito curto prazo, em benefício dos próprios consumidores”[16].

Assim em 1982, o governo português emitiu o primeiro documento de regulamentação do sector energético em resposta à crise petrolífera e aos impactos sentidos na produtividade. O Regulamento da Gestão do Consumo de Energia (RGCE) surgiu precisamente com o objectivo de maximizar a eficiência e a racionalidade no consumo de energia.

O RGCE era aplicável às instalações consumidoras intensivas de energia que tivessem um consumo energético superior a 1000 toneladas de equivalente petróleo (1000 tep/ano); que tivessem instalado equipamentos cuja soma dos consumos energéticos excedesse 0,500 tep/hora; ou possuissem pelo menos um equipamento com consumo energético superior a 0,300 tep/hora [17].

Este Regulamento introduziu o princípio da elaboração de planos de racionalização a elaborar periodicamente (períodos de cinco anos), criou a figura do gestor de energia que deveria supervisionar o consumo energético e elaborar os planos de racionalização, e instituiu como objectivo a redução do consumo de energia pela aplicação do plano de racionalização, a medir da conjugação do consumo específico e do valor de referência.

Entretanto, decorridas mais de duas décadas desde a publicação do RGCE, aconteceram muitas alterações nas áreas do domínio energético em Portugal, e havia um número considerável de empresas com consumos significativos para as quais se tornava necessário criar um instrumento de promoção da eficiência energética mais rigoroso e eficaz e que incluísse também o controlo de emissões de gases com efeito de estufa [18].

3.2- Enquadramento

Portugal definiu através da Resolução do Conselho de Ministros nº 169/2005, de 15 de Outubro, a Estratégia Nacional para a Energia onde anunciou medidas para a promoção da eficiência energética, nomeadamente a reforma do Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE) no sentido de fazer o seu ajustamento às novas realidades e exigências relativas às emissões de gases de efeito estufa, à revisão da fiscalidade do sector energético e à necessidade de desenvolver acordos para a utilização racional de energia [19].

Por outro lado, o governo, através da aprovação do Programa Nacional para as Alterações Climáticas, em 2006, definiu algumas medidas adicionais para o sector da indústria:

- A alteração do imposto sobre os produtos petrolíferos e energéticos (ISP) sobre os combustíveis industriais, criando um modelo de incentivo à redução de gases de efeito estufa;
- A definição de um novo RGCE que estimule a eficiência energética no sector industrial através de acordos;
- A revisão do RGCE para o sector dos transportes [20].

Em 2008, o governo implementou a revisão dos limites máximos para o ISP com aplicação aos combustíveis industriais no sentido de imputar aos utilizadores de carvão, coque de petróleo ou fuelóleo os custos referentes às emissões de CO₂ adicionais em relação à utilização de gás natural, e ainda substituindo os critérios sectoriais de isenção deste imposto por critérios ambientais e de eficiência energética.

Foi ainda estabelecida a isenção do ISP para utilizadores abrangidos pelo comércio europeu de licenças de emissão ou que efectuassem acordos de racionalização do consumo de energia, a definir nos termos legais.

Deste modo, com o objectivo de dar cumprimento à Estratégia Nacional para a Energia de 2005 e ao Programa Nacional para as Alterações Climáticas, de concretizar os mecanismos de isenção prevista na lei, e considerando a preocupação relativa à eficiência na utilização da energia, impunha-se como necessária a redefinição da disciplina e métodos de gestão do consumo de energia, previstos no regulamento para a eficiência energética na indústria, que o Decreto-Lei n.º 58/82, de 26 de Fevereiro, e sua regulamentação estabeleciam [19].

Considerando o contexto de então no sector energético, Portugal apresentava:

- Elevada dependência energética do exterior;
- Excessiva dependência dos combustíveis fósseis, sobretudo o petróleo;
- Grande exposição a factores exógenos (exemplo, variação dos preços das matérias primas);
- Elevada intensidade energética (energia utilizada / riqueza produzida);
- Elevada intensidade carbónica associada à baixa eficiência energética e insuficiente desenvolvimento sócio-económico;

- Surgimento interessante das energias renováveis, mas muito limitadas à produção de energia eléctrica (a representarem apenas 20% dos consumos);
- Reduzida concorrência nos sectores do gás e da electricidade [21].

O Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril, veio definir as instalações com consumo intensivo de energia, alargando esta definição a um conjunto mais amplo de empresas e instalações no sentido de aumentar a eficiência energética. Estabeleceu um regime administrativo diversificado e mais simplificado para as empresas que estão vinculadas a compromissos de redução de emissões de CO₂ previstos no Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão (PNALE). Contemplou para ambas as situações o acesso às isenções e outros estímulos criados para a promoção de eficiência energética.

Nesse sentido, o mesmo diploma criou o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) que tem como objectivo o de promover a eficiência energética e racionalizar os consumos energéticos de instalações consumidoras intensivas de energia, e ainda de contribuir para a diminuição do nível de emissões de gases com efeito de estufa [19].

3.3- Sobre Eficiência Energética

Transmitindo uma preocupação transversal ao espaço europeu, a Directiva 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 5 de Abril, define a necessidade de incrementar a relação custo-eficácia da melhoria da eficiência na utilização final de energia nos Estados-Membros. Destina-se entre outros aos fornecedores de medidas da eficiência energética, aos distribuidores de energia, aos operadores das redes de distribuição e aos consumidores finais.

Define a "Melhoria da eficiência energética" como o aumento da eficiência na utilização final da energia resultante de alterações tecnológicas, comportamentais e/ou económicas; e "Economia de energia" como uma quantidade de energia economizada calculada pela medição e/ou estimativa do consumo antes e após a aplicação de uma ou mais medidas de melhoria da eficiência energética.

Apresenta alguns exemplos de domínios em que programas e outras medidas de melhoria da eficiência energética podem ser desenvolvidos e aplicados [22]:

Sector industrial

- Processos de fabrico de produtos (por exemplo, utilização mais eficiente do ar comprimido, condensadores, comutadores e válvulas, utilização de sistemas automáticos e integrados, modos de vigília eficientes);
- Motores e sistemas de transmissão (por exemplo, maior utilização de comandos electrónicos e variadores de velocidade, programação de aplicações integradas, conversores de frequências, motores eléctricos de alta eficiência);
- Ventiladores, variadores de velocidade e ventilação (por exemplo, novos dispositivos ou sistemas, utilização de ventilação natural);
- Gestão da resposta à procura (por exemplo, gestão da carga, sistemas de controlo de corte de picos);
- Co-geração de alta eficiência (por exemplo, equipamentos de co-geração);

Medidas trans-sectoriais

- Normas e padrões que tenham como principal objectivo melhorar a eficiência energética de produtos e serviços, incluindo os edifícios;
- Sistemas de rotulagem energética;
- Contadores, sistemas inteligentes de contagem, como por exemplo instrumentos de contagem individuais geridos à distância, e facturação detalhada;
- Formação e ensino que conduzam à aplicação de tecnologias e/ou técnicas de eficiência energética;

Medidas horizontais

- Regulamentação, impostos, etc., que tenham como efeito reduzir o consumo final de energia;
- Campanhas de informação focalizadas que promovam a melhoria da eficiência energética e as medidas de melhoria da eficiência energética.

Por outro lado, no plano nacional, o governo aprovou, em 2008, através da Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, de 20 de Maio, o Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética (PNAEE).

O PNAEE inclui quatro áreas específicas de cariz essencialmente tecnológico: Transportes, Residencial e Serviços, Indústria e Estado. Considera ainda três áreas transversais: Comportamentos, Fiscalidade, Incentivos e Financiamentos. Cada uma destas áreas agrega diversos programas que integram um conjunto de medidas de eficiência energética.

A área Industrial é abrangida por um programa designado por Sistema de Eficiência Energética na Indústria, que substituiu o Regulamento de Gestão de Consumo de Energia (RGCE - Decreto-Lei n.º 58/82, de 26 de Fevereiro) pelo novo regulamento - Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de Energia (SGCIE) - destacando-se algumas medidas transversais no sector industrial, dirigidas a quatro grupos tecnológicos, motores eléctricos, produção de calor e frio, iluminação e outras medidas para a eficiência no processo industrial.

Assim, aponta-se a dinamização de algumas medidas de poupança transversais à indústria, como exemplo a optimização da produção de calor e frio, de motores eléctricos, da iluminação e eficiência de processos. Como medidas específicas, exemplifica-se a optimização de fornos de cerâmica, gasificação e secagem na pasta de papel, operações de separação e catalisadores no sector químico [23].

3.4- SGCIE - Aplicação e âmbito

A disposição prevista no Decreto-Lei n.º 71/2008, de 15 de Abril, determina que sejam abrangidas pelo SGCIE as instalações de consumos intensivos de energia (CIE) que no ano civil imediatamente anterior tenham verificado um consumo energético superior a 500 toneladas equivalentes petróleo (500 tep/ano), com excepção das instalações de co-geração juridicamente autónomas dos respectivos consumidores de energia.

Podem ainda ser abrangidas por este sistema as empresas que embora tenham um consumo energético inferior ao referido (500 tep/ano) pretendam voluntariamente aderir à celebração de acordos de racionalização de consumo de energia [19].

3.5- Organização do SGCIE

Intervêm no SGCIE a Direcção-Geral de Energia e Geologia DGEG), a Direcção-Geral das Alfândegas e Impostos Especiais sobre o Consumo (DGAIEC), a Agência para a Energia (ADENE) e os operadores que exploram as instalações de CIE, e ainda os técnicos credenciados ao serviço destes.

A DGEG, além de outras competências, cumpre-lhe fazer a supervisão e fiscalização do funcionamento do SGCIE.

A DGAIEC tem a seu cargo a concessão e controlo das isenções do ISP.

À ADENE compete a gestão operacional do SGCIE, nomeadamente:

- Assegurar o funcionamento regular do sistema;
- Organizar e manter o registo das instalações de CIE;
- Receber os planos de racionalização do consumo de energia, submetendo-os à aprovação da DGEG;
- Receber e analisar os pedidos de credenciação de técnicos e entidades, submetendo-os à aprovação da DGEG;
- Acompanhar a actividade dos operadores e técnicos no âmbito do cumprimento da disciplina legalmente prevista [19].

3.6- Operador de instalações de CIE

O operador que explore instalações de CIE possui as seguintes obrigações:

- Promover o registo das instalações;
- Efectuar auditorias energéticas que avaliem, nomeadamente todos os aspectos relacionados com a promoção do aumento global da eficiência energética, podendo também incluir aspectos relativos à substituição por fontes de energia de origem renovável, entre outras medidas, nomeadamente as de redução da factura energética;
- Enviar à ADENE os Planos de Racionalização do Consumo de Energia (PREn), tendo por base as auditorias referidas na alínea anterior, tendo em vista o aumento global da eficiência energética;
- Executar e cumprir os PREn aprovados, sob a responsabilidade técnica de um técnico credenciado [19].

3.7- Registo da Instalação de CIE

O registo da instalação de CIE processa-se através de declaração elaborada pelo operador, sendo efectuado no prazo de quatro meses, a partir do final do primeiro ano em que a instalação atinja o estatuto de CIE.

A ADENE disponibiliza o formulário da declaração para registo *online* no seu *site* na Internet.

O operador deve efectuar a extinção do registo se a instalação deixar de preencher os requisitos que o determinaram, fazendo prova de que já não se encontra nas condições que lhe conferiram o estatuto de CIE [19].

3.8- Auditorias energéticas

3.8-1. - Definição e objectivos

Auditoria energética é um procedimento sistemático através do qual se obtêm conhecimentos adequados sobre o perfil de consumo de energia de um edifício ou de um conjunto de edifícios, de uma actividade e ou instalação industrial ou de serviços públicos ou privados, se identificam e quantificam as oportunidades de economias de energia com boa relação custo-eficácia e se dá a conhecer os resultados [24].

Consiste num levantamento detalhado de todos os aspectos relacionados com o uso de energia, ou que de alguma forma contribuam para a caracterização dos fluxos energéticos. Tem por objectivo a caracterização energética dos diferentes equipamentos e sistemas existentes numa instalação consumidora intensiva de energia e a identificação das medidas com viabilidade técnico-económica possíveis de implementar, de modo a aumentar a eficiência energética e ou a reduzir a factura energética associada às actividades da instalação em questão [25].

3.8-2. - Condições de realização

É obrigatório realizar as seguintes auditorias energéticas:

- Nas instalações com consumo de energia igual ou superior a 1000 tep/ano periodicamente de seis em seis anos, no entanto a primeira auditoria terá de ser realizada no prazo de quatro meses depois do registo.
- Nas instalações com consumo de energia igual ou superior a 500 tep/ano mas inferior a 1000 tep/ano, por períodos de oito anos, sendo realizada a primeira auditoria no ano seguinte ao do registo [19].

As auditorias recaem sobre as condições de utilização da energia, assim como sobre a concepção e o estado da instalação, e devem ainda recolher os elementos indispensáveis à elaboração do Plano de Racionalização do Consumo de Energia (PREn) e à verificação do seu cumprimento [25].

Independentemente das obrigações atrás referidas, o operador pode realizar as auditorias que achar convenientes e úteis à promoção da eficiência energética da instalação consumidora intensiva de energia [19].

3.8-3. - Elaboração

A auditoria energética terá de considerar e intervir especialmente de modo a:

- a) Quantificar os consumos energéticos (por instalação global e principais secções e ou equipamentos) e a sua importância no custo final do(s) produto(s);
- b) Efectuar uma inspecção visual dos equipamentos e ou sistemas consumidores de energia, complementada pelas medições necessárias;
- c) Esclarecer como é transformada a energia e quais os seus custos;
- d) Efectuar um levantamento e caracterização detalhados dos principais equipamentos consumidores de energia, sobretudo com maior peso em termos de potência instalada, quer eléctrica, quer térmica;
- e) Obter diagramas de carga (DDC) eléctricos dos sistemas considerados grandes consumidores de electricidade;
- f) Determinar a eficiência energética de geradores de energia térmica eventualmente existentes, pelos métodos das perdas ou directo;
- g) Verificar o estado das instalações de transporte e distribuição de energia;
- h) Verificar a existência do bom funcionamento dos aparelhos de controlo e regulação do equipamento de conversão e utilização de energia;
- i) Realizar balanços de massa e energia aos principais equipamentos consumidores de energia térmica;
- j) Determinar consumos específicos de energia durante o período de realização da auditoria, para posterior comparação com os valores médios mensais e anuais e detecção de eventuais variações sazonais;
- k) Determinar o quociente entre o consumo energético total e o valor acrescentado bruto (kgep/VAB) da actividade empresarial directamente ligada à instalação consumidora intensiva de energia, bem como, o consumo específico de energia (kgep/unidade de produção);
- l) Identificar e quantificar as possíveis áreas onde as economias de energia são viáveis, como resultado das situações encontradas/anomalias detectadas e medições efectuadas;
- m) Definir intervenções com viabilidade técnico-económica, conducentes ao aumento da eficiência energética e ou à redução da factura energética;
- n) Definir as linhas orientadoras para a implementação ou melhoria de um esquema operacional de Gestão de Energia.

Para o efeito, a definição de Valor Acrescentado Bruto (VAB) é a seguinte:

- $VAB = \text{Vendas (POC 71)} + \text{Prestações de serviços (POC 72)} + \text{Proveitos suplementares (POC 73)} + \text{Trabalhos para a própria empresa (POC 75)} - \text{Custo das mercadorias vendidas e das matérias consumidas (POC61)} - \text{Fornecimentos e serviços externos (POC 62)} - \text{Outros custos e perdas operacionais (POC 65)}.$

Considera-se ainda importante que auditoria energética dê relevância às medidas relacionadas com o período de retorno do investimento, nomeadamente:

- 1) Identificar as medidas com período de retorno do investimento inferior ou igual a 5 anos (Empresas CIE com consumo de energia ≥ 1000 tep/ano);
- 2) Identificar as medidas com período de retorno do investimento inferior ou igual a 3 anos (Empresas CIE com consumo de energia < 1000 tep/ano) [25].

3.8-4. - Medição e Estimativa

Existem vários métodos de recolha de elementos para calcular as economias de energia. Na avaliação de um serviço energético ou de uma medida de melhoria da eficiência energética nem sempre é possível recorrer apenas a medições. Isto é, há que fazer uma distinção entre métodos de medição das economias de energia e métodos de estimativa das economias de energia, sendo que estes últimos são frequentemente utilizados na prática.

Dos métodos de medição exemplificam-se as facturas de empresas de distribuição que permitirão medir o consumo de um período representativo anterior à medida de melhoria de eficiência energética. O consumo de energia de uma instalação pode ser totalmente monitorizado a fim de registar a procura de energia antes e depois da introdução de uma medida de melhoria de eficiência energética.

Dos métodos baseados em estimativas constitui um instrumento comum de obtenção de dados para a medição das economias de energia. Pode fazer-se uma estimativa baseada em princípios técnicos, sem a utilização de dados no local, mas com pressupostos assentes em especificações dos equipamentos, características de desempenho, perfis de funcionamento das medidas instaladas, estatísticas, etc. Os elementos relativos à energia podem igualmente ser calculados com base em informações obtidas por um perito externo durante uma auditoria ou outro tipo de visita. Com estes dados podem ser desenvolvidos algoritmos/modelos de simulação mais sofisticados a aplicar a uma maior variedade de locais [24].

3.9- Plano de Racionalização do Consumo de Energia

Da auditoria energética são levantados dados essenciais para a caracterização da instalação de CIE mas também para a definição de indicadores, medidas de racionalização de energia (MRE) e metas de redução.

3.9-1. Indicadores de eficiência

Do PREn constam três indicadores (IE, CEE e IC) aos quais devem ser estabelecidas metas de redução [25]:

$$a) \text{ Intensidade energética (IE) = Consumo total de energia (kgep) / VAB (€)} \quad (3.1)$$

Onde,

VAB: Valor acrescentado bruto, expresso em €

IE é expresso em kgep/€.

$$b) \text{ Consumo Específico de energia (CEE) = Consumo total de energia (kgep)/ volume de produção (unidade de produção)} \quad (3.2)$$

CEE é expresso em kgep/unidade de produção [19].

Para instalações de CIE multi-produtos o CEE deve ser desagregado, sempre que for possível, para cada tipo de produto [25].

De referir que a aplicação do CEE não é obrigatória [19].

$$c) \text{ Intensidade carbónica (IC) = Emissões GEE/consumo total de energia (kgep)} \quad (3.3)$$

Onde,

GEE: Gases de efeito de estufa, expresso em kgCO₂e [19].

3.9-2. Metas e medidas de racionalização de energia

As metas são definidas pelos seguintes valores [19]:

Para os indicadores IE e CEE:

- Para instalações de CIE superiores a 1000 tep/ano:
No mínimo, uma melhoria de 6% em seis anos;
- Para instalações de CIE restantes:
No mínimo, uma melhoria de 4% em oito anos.

Para o indicador IC não existe uma meta fixa obrigatória, apenas devem ser, no mínimo, mantidos os valores históricos de IC.

Para atingir as metas definidas, no PREn devem constar obrigatoriamente medidas que proponham a racionalização do consumo de energia.

As Medidas de Racionalização de Energia (MRE) são obrigatoriamente implementadas nos 3 primeiros anos. No entanto, estas são definidas e calendarizadas no programa de implementação do PREn, estando contabilizado a sua contribuição para a redução dos indicadores assim como o período de retorno de investimento (PRI) [25].

Para instalações com consumos intensivos de energia superiores a 500 tep/ano e inferiores a 1000 tep/ano, o PRI de cada MRE não poderá superar os 3 anos. Para as restantes instalações, o PRI deve ser igual ou inferior a 5 anos [19].

Para determinação das metas atrás referidas serão utilizados os valores do VAB a preços constantes relativos ao ano de referência [25]. Ou seja, considerando um ano de referência de 2007 o ajuste do valor do VAB para o ano de 2009 utilizará a seguinte fórmula:

$$\begin{aligned} & \text{VAB de 2009 a preços constantes de 2007} \\ & = (\text{VAB a preços correntes de 2009}) / 1,04124 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Na expressão 3.4 é utilizado como índice de preços o deflator do VAB nacional (para o total da economia de Portugal) a preços de 2007, que se obtém da informação publicada pelo INE - Instituto Nacional de Estatística, respeitante às Contas Nacionais Anuais [1].

Ainda no conteúdo do PREn devem também ser estudadas as hipóteses de produção combinada de energia eléctrica e térmica, de valorização de resíduos energéticos e de substituição dos produtos derivados do petróleo.

O SGCIE define ainda que o PREn terá de ser elaborado de maneira que possibilite em qualquer momento da sua execução uma fácil observação dos desvios [25].

3.9-3. - Aprovação do PREn

O PREn é apresentado à ADENE nos quatro meses seguintes após decorrido o prazo para a realização da auditoria energética.

Estando devidamente instruído, a ADENE, no prazo de cinco dias, submete-o à aprovação da DGEG, sendo acompanhado do respectivo relatório de auditoria energética.

Na eventualidade das medidas enunciadas no PREn não permitirem a definição de objectivos de melhoria da intensidade energética, a aprovação do PREn ficará dependente da realização de nova auditoria por técnico ou entidade credenciada que não tenha participado na elaboração do PREn, da responsabilidade da ADENE.

O PREn depois de aprovado passa a designar-se por Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE) e é comunicado pela DGEG à DGAIEC para efeitos de instrução e aplicação dos mecanismos de isenção previsto na legislação fiscal [19].

3.9-4. - Controlo de execução e progresso do ARCE

O operador deve apresentar à ADENE, por cada dois anos de vigência do ARCE e até 30 de Abril do ano seguinte, Relatório de Execução e Progresso (REP) observados no período de implementação do ARCE a que diz respeito o relatório. Nele deve fazer constar as metas e objectivos alcançados, os desvios ocorridos e sua justificação e as medidas tomadas ou a incrementar para a respectiva correcção [19]. Para este efeito, o operador deverá possuir um registo actualizado onde se possam verificar periodicamente os desvios relativamente às metas pretendidas [25].

Para avaliar o estado de implementação do ARCE, o REP deve disponibilizar informação sobre a eficiência energética da instalação, recorrendo aos indicadores incluídos no PREn,

calculados utilizando o valor do VAB a preços constantes em relação ao ano de referência e os valores de produção obtidos.

O operador deve ainda apresentar à DGEG, se for solicitado, os registos elaborados e prestar os devidos esclarecimentos.

O relatório de execução e progresso (REP) respeitante ao último período de vigência do ARCE deve contemplar um balanço final de execução, considerando-se como relatório final [25]. Este é elaborado por um técnico ou entidade credenciados, designado pela ADENE que não tenha participado na realização das auditorias energéticas, no PREn ou nos REP's intercalares [19].

3.10-Reconhecimento de Técnicos ou Entidades

Para a elaboração das auditorias energéticas, dos planos de racionalização e ainda para o controlo da sua execução e progresso, nomeadamente para a elaboração dos relatórios de execução e progresso, o operador precisa de recorrer a técnicos ou entidades devidamente habilitados. Estes técnicos e entidades são credenciados pela DGEG, considerando critérios de competência técnica, concretamente requisitos de habilitação e experiência profissional definidos legalmente e que a seguir se descrevem [19].

Assim, os requisitos mínimos de habilitação e experiência profissional para a credenciação de técnico auditor energético e autor de planos de racionalização e de relatórios de execução e progresso são os seguintes:

- Habilitação com curso de Engenheiro, reconhecido pela Ordem dos Engenheiros, ou com curso de Engenheiro Técnico, reconhecido pela Associação Nacional dos Engenheiros Técnicos;
- Experiência profissional adequada definidas pela Portaria nº 519/2008, de 25 de Junho, nomeadamente, entre outras situações, a de o candidato possuir pelo menos cinco anos de prática em instalações com consumo intensivo de energia acima de 500 tep/ano, ou três anos de experiência específica nas áreas de auditoria e consultoria energética;
- Ter à disposição a aparelhagem de medida e controlo necessária para o efeito [26].

O despacho de credenciação estabelece o âmbito e o prazo que não pode ir além de cinco anos que podem ser prorrogáveis. A DGEG, perante parecer da ADENE e tendo ouvido o interessado pode rejeitar o pedido de prorrogação quando identifiquem deficiências de execução dos técnicos notoriamente desadequadas à eficiência na utilização final da energia.

Os relatórios de auditoria energética, os planos de racionalização energética e os REP são subscritos pelo técnico e ou entidade credenciados que respondem, no plano técnico, solidariamente com o operador pelo respectivo conteúdo [19].

3.11-Isenção de ISP e Incentivos

A aprovação de ARCE permite aos operadores o reconhecimento relativo à isenção do Imposto sobre Produtos Petrolíferos e Energéticos (ISP), aplicável aos combustíveis industriais

- carvão, coque de petróleo ou fuelóleo. Compete à DGAIEC proceder à confirmação dessa isenção e notificar os operadores exploradores das respectivas instalações sobre a data a partir da qual a mesma se aplica, ou no caso de cancelamento se houver lugar à perda desse benefício.

Para além desta isenção, os operadores de instalações com ARCE beneficiam ainda de estímulos e incentivos à promoção da eficiência energética. Assim:

- No caso de consumos inferiores a 1000 tep/ano, à compensação, até ao limite de 750€, de 50% do custo das auditorias energéticas obrigatórias, considerando o cumprimento de pelo menos 50% das medidas previstas no ARCE, verificado pelo relatório de execução e progresso,
- À compensação de 25% dos investimentos efectuados em equipamentos e sistemas de gestão e monitorização dos consumos de energia, até ao limite de 10 000€.
- Nas instalações consumidoras de apenas gás natural e ou energias renováveis os limites previstos atrás serão majorados em 15% e 25% respectivamente [19].

3.12-Taxas Penalidades e Coimas

Pela apreciação e acompanhamento do PREn é devida a aplicação de uma taxa ao operador que reverte a favor da ADENE.

A falta de cumprimento das metas ou não implementação das medidas previstas no ARCE obriga:

- Quando o desvio apurado no final do período de vigência do ARCE for igual ou superior a 25%, ao pagamento pelo operador da quantia de 50€ (actualizável anualmente) por tep/ano não evitado. Este montante é agravado em 100% em caso de reincidência;
- Quando o desvio apurado no final do período de vigência do ARCE for igual ou superior a 50% , é devido o pagamento dos montantes previstos no ponto anterior (50€ ou 100€ por tep/ano não evitado) e ainda a devolução dos incentivos recebidos e consequentes da instalação se encontrar abrangida pelo ARCE.
- As quantias pagas são reembolsáveis em 75% desde que o operador recupere no ano seguinte ao da aplicação da penalidade os desvios e metas relativos ao cumprimento do ARCE e que determinaram a penalização [19].

Constituem contra-ordenações, puníveis com coima, o incumprimento, por parte do operador, da promoção do registo das instalações, da realização das auditorias energéticas obrigatórias e ainda a não apresentação dos REP previstos no controlo de execução e progresso do ARCE [19].

Capítulo 4

Medição e Verificação no SGCIE

4.1- Análise crítica dos Indicadores de eficiência do SGCIE e de processos de Medição e Verificação

O SGCIE faz uso de três indicadores para promover e regular a eficiência. Não só a eficiência energética relacionada com a optimização dos equipamentos consumidores, mas também do valor económico da energia nas actividades operacionais da empresa auditada e a sua contribuição ambiental.

Os indicadores mencionados e que são detalhadamente descritos a seguir são:

- Intensidade Carbónica (IC)
- Intensidade Energética (IE)
- Consumo Específico de Energia (CEE)

A análise crítica referida foi efectuada conjuntamente com uma abordagem inicial dos procedimentos de Medição e Verificação (M&V) do IPMVP partindo destes para criar metodologias alternativas de avaliação do desempenho energético.

4.1-1. - Intensidade carbónica (IC)

O SGCIE define o indicador através da seguinte fórmula [19]:

$$IC = \frac{\text{Emissões GEE (KgCO}_2\text{e)}}{\text{Consumo total de energia (tep)}} \quad (4.1)$$

Onde,

KgCO₂e: Quilogramas de CO₂ equivalente

GEE: Gases de efeito de estufa expressos em kgCO₂e

Tep: Tonelada equivalente de petróleo

IC: Intensidade carbónica, expressa em kgCO₂e/tep

O objectivo de regularização ambiental através do SGCIE tem origem na directiva europeia de 2006/32 que, para além de definir metas e estratégias na utilização final de energia, reforça a importância da redução das emissões de CO₂ e outros gases com efeitos de estufa na prevenção das alterações climáticas e o respeito dos compromissos do protocolo de Quioto [22].

Porém, ainda em 2008, no mesmo ano de entrada em vigor do SGCIE, o então ministro do Ambiente informava que Portugal estava 5% acima do valor acordado no protocolo, não se prevendo o cumprimento da meta definida até 2012. Acrescentava, também, que o “pós-Quito”, isto é, um possível acordo na cimeira de Copenhaga de Dezembro de 2009, traria objectivos ainda mais exigentes [34].

Assim, a meta prevista de manter os valores históricos do indicador de intensidade carbónica (IC) durante a vigência do Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE) foi desajustada face ao contexto de então e à perspectiva futura. Actualmente estima-se que Portugal continuará a manter a mesma percentagem de incumprimento (5%) até 2012 [35].

Não obstante, o SGCIE criou mecanismos de promoção do uso de combustíveis derivados de resíduos endógenos e renováveis pela contabilização parcial, em 50%, do total de consumo proveniente destes combustíveis para efeitos de determinação do indicador de intensidade energética (IE) e consumo específico de energia (CEE) que estão sujeitos a reduções obrigatórias. O estudo da utilização destas formas de energia é inclusive obrigatório, constando no plano de racionalização de consumo de energia (PREn) elaborado após a auditoria à instalação [25]. Ainda que seja dada importância ao estudo, projectos no âmbito do aproveitamento de resíduos e fontes renováveis têm períodos de retorno do investimento (PRI) médios superiores aos limites de 3 ou 5 anos impostos pelo regulamento. Ainda que não seja possível englobar no programa de implementação do PREn, o operador poderá contratualizar com a equipa auditora o estudo referido com uma precisão superior, mais adequada ao seu interesse, ficando, deste modo, incluído no plano de M&V e tendo garantia da utilização de um processo controlado e de dados mais credíveis (ver 4.2.3).

Um outro alerta desta análise é relativo à formulação do indicador: as emissões GEE são calculadas tendo em conta diferentes factores de emissão para os diferentes combustíveis e fontes de energia presentes nas instalações auditadas. A fórmula 4.2 demonstra o conceito:

$$\text{Emissões GEE} = \sum_n fe_i \times cons_i \text{ (kgCO}_2\text{e)} \quad (4.2)$$

Onde,

fe_i : factores de emissão para o combustível ou fonte de energia i , expresso em kgCO₂e/tep

$cons_i$: consumo energético do combustível ou fonte de energia i , expresso em tep

Com base no exposto, a diminuição da energia utilizada nas instalações de consumos intensivos de energia (CIE) implica uma redução do valor das emissões. Contudo, caso a diminuição do mix energético não seja nas mesmas proporções, o IC pode, por um lado, ser efectivamente menor comparativamente à situação inicial, como, por outro lado, pode aumentar o seu valor. O aumento do IC acontece quando as reduções dos consumos têm uma maior contribuição dos combustíveis ou fontes com menores factores de emissão.

Veja-se os seguintes casos:

Tabela 4.1 - Estudo da influência no valor de IC da redução dos combustíveis e fontes de energia.

Caso 1 - E.Eléctrica			
	Redução	IC antes	IC após
E.Eléctrica	10%	2186	2186
Caso 2 - Gás N. (10%) & E.Eléctrica(10%)			
	Redução	IC antes	IC após
Gás N.	10%	2435	2435
E.Eléctrica	10%		
Caso 3 - Gás N. (5%) & E.Eléctrica(10%)			
	Redução	IC antes	IC após
Gás N.	5%	2435	2441
E.Eléctrica	10%		
Caso 4 - Gás N. (10%) & E.Eléctrica(5%)			
	Redução	IC antes	IC após
Gás N.	10%	2435	2428
E.Eléctrica	5%		
Caso 5 - Fuelóleo (5%) & E.Eléctrica(10%)			
	Redução	IC antes	IC após
Fuelóleo	5%	2711	2725
E.Eléctrica	10%		
Caso 6 - Fuelóleo (10%) & E.Eléctrica(5%)			
	Redução	IC antes	IC após
Fuelóleo	10%	2711	2697
E.Eléctrica	5%		

Tabela 4.2 - Factores de emissão das fontes de energia e combustíveis utilizados para o estudo presente na tabela 4.1.

	E.eléctrica	Gás N.	Fuelóleo
Factores de emissão (kgCO₂e/tep)	2186	2684	3236

Da tabela 4.1 e 4.2, leia-se da seguinte forma as abreviaturas usadas:

IC antes: valor de IC antes da aplicação das medidas de melhoria de eficiência, expresso em kgCO₂e/tep;

IC após: valor de IC após a aplicação das medidas de melhoria de eficiência, expresso em kgCO₂e/tep;

E.Eléctrica: Energia Eléctrica;

Gás N. : Gás Natural.

Observando os casos 1 e 2, da tabela 4.1, constata-se que nas reduções do consumo na mesma proporção (10%, neste exemplo) entre energia eléctrica e gás natural ou, naturalmente, utilizando uma única fonte de energia, não ocorrem variações no valor de IC. O mesmo já não acontece nas situações com proporções diferenciadas, sendo que o “IC após” é superior ao “IC antes” sempre que a maior redução relativa seja na fonte energética (ou combustível) com menor factor de emissão (ver tabela 4.2), como são os casos 3 e 5. Nestas circunstâncias, quanto maior a diferença entre os factores de emissão, mais acentuados são os aumentos no valor de IC após a implementação da medidas de eficiência (comparar casos 3 e 5).

Em situação inversa, nos casos 2 e 4, o IC diminui no final do Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE).

Deste modo, a mensagem que é transmitida para o auditor é que haja um esforço para reduzir o consumo e ou considerar as hipóteses de troca das fontes de energia ou combustíveis com maiores factores de emissão. Contudo, esta mensagem é mais evidente analisando os diferentes factores de conversão das fontes de energia e combustíveis para toneladas equivalentes de petróleo [36].

Por conseguinte e dada a sua formulação, o IC não deve ser considerado um indicador de eficiência energética, a partir do qual são definidas estratégias para a optimização dos consumos. É, na verdade, um indicador de eficiência ambiental.

De referir que por simplicidade no cálculo do “IC antes” e das reduções foi considerado que tanto para a energia eléctrica como gás natural e fuelóleo os seus consumos antes da aplicação das medidas de eficiência eram de 1000 tep - valor ao qual são efectuadas as reduções para o cálculo de “IC após”.

No entanto, utilizando quantidades diferentes de combustíveis e de fontes de energia nos casos acima referidos, as conclusões seriam as mesmas.

4.1-2. - Indicador de Intensidade Energética (IE)

O SGCIE define o indicador através da seguinte fórmula [19]:

$$IE = \frac{\text{consumo total de energia (Kgep)}}{\text{VAB (€)}} \quad (4.2)$$

Onde,

VAB: Valor Acrescentado Bruto, expresso em euros (€).

Na mesma alínea do decreto-lei está definido o consumo específico de energia que será tratado em 4.1.3.

De forma a estabelecer as metas de redução, o ano de referência é o ano civil anterior à data da auditoria energética [25]. Este será o período de comparação quer para os valores do consumo, do preço de energia, da produção e também do VAB.

Se existem anos em que o desempenho económico das empresas consumidoras intensivas de energia (CIE) está em conformidade com as oscilações competitivas na quota de mercado, outros haverá em que a saúde económica da empresa está fragilizada. Um exemplo adequado é a actual crise económico-financeira mundial. Contudo, tanto numa como na outra situação, a variação do VAB pode ser significativa relativamente às metas de redução mínimas estabelecidas pelo SGCIE, como pode ser observável na tabela 4.3.

De relembrar que o valor acrescentado bruto está directamente relacionado com a actividade produtiva da empresa, como expresso na fórmula seguinte:

$$\begin{aligned}
 VAB = & \text{Vendas} + \text{Prestações de serviços} + \text{Proveitos suplementares} \\
 & + \text{Trabalhos para a própria empresa} - \\
 & \text{Custo das mercadorias vendidas e das matérias consumidas} - \\
 & \text{Fornecimentos e serviços externos (POC 62)} - \text{Outros custos e perdas operacionais}
 \end{aligned}
 \quad (4.3)$$

Na tabela 4.3, são mostradas as variações anuais médias do valor do VAB, em relação ao seu período homólogo, em três sectores com CIE ao longo de 6 anos de actividade. As variações são expressas tanto em % como em unidade monetárias (u.m.) [37]:

Tabela 4.3 - Variações médias entre anos consecutivos do Valor Acrescentado Bruto, em percentagem e em unidades monetárias (u.m.)

Anos	Sectores industriais					
	Alimentares, das bebidas e do tabaco		Têxtil		Pasta de papel e cartão;	
	Variação anual	VAB	Variação anual	VAB	Variação anual	VAB
2001		100 u.m.		100 u.m.		100 u.m.
2001-2002	8,60%	108,60 u.m.	-7,50%	92,50 u.m.	3,40%	103,40 u.m.
2002-2003	-5,50%	102,63 u.m.	0,70%	93,15 u.m.	-14,30%	88,61 u.m.
2003-2004	-2,40%	100,16 u.m.	5,50%	98,27 u.m.	6,30%	94,20 u.m.
2004-2005	0,60%	100,76 u.m.	-8,40%	90,02 u.m.	7,80%	101,54 u.m.
2005-2006	-2,40%	98,35 u.m.	7,30%	96,59 u.m.	2,60%	104,18 u.m.
2006-2007	3,80%	102,08 u.m.	1,70%	98,23 u.m.	-4%	100,02 u.m.
2007-2008	-4,50%	97,49 u.m.	-6,30%	92,04 u.m.	-17,90%	82,11 u.m.

Nota: A inclusão do estudo por unidades monetárias, não consta da referência bibliográfica, servindo apenas para evidenciar a análise em questão.

Considere-se que uma empresa do sector de pasta de papel e cartão é auditada em 2002, ou seja o ano de referência é 2001. No final do 6.º ano de exercício do ARCE (2008), segundo a tabela 4.3, o valor acrescentado bruto (VAB) diminui de 100 para 82,11 u.m., que corresponde a uma variação de cerca de 18% do VAB (tendo em conta valores médios do sector). O operador da instalação poderá até cumprir o programa de implementação das MRE's, mas o IE não irá atingir a meta acordada de redução mínima de 6% havendo assim a possibilidade da empresa ser penalizada. Ainda no decorrer do 2.º ano do ARCE (momento da elaboração do primeiro Relatório de Execução e Progresso (REP), dada a variação do VAB de 100 para 94,20 u.m., a redução do IE através das MRE's definidas para esse período seria menor do que o calculado. Nestas situações o SGCIE especifica que sejam incluídas no REP as

medidas que permitam a correcção do valor IE [25]. Porém, o operador tendo implementado correctamente as MRE's estipuladas, não tem qualquer forma de corrigir o desvio.

Ainda que se argumente com base na atipicidade do actual contexto mundial, na situação oposta o indicador também reflecte as incoerências referidas. Considerando hipoteticamente a duração do ARCE em 4 anos, de modo à explicação ter por base o exemplo, com ano de referência em 2001 e término em 2006, no mesmo sector de pasta de papel e cartão, o VAB aumentaria cerca de 4,2%, representado mais de dois terços da meta mínima de 6%.

Não foi a empresa que melhorou o seu valor económico da energia, foi o mercado quem reduziu o IE. Nestas circunstâncias, o IE, não é um indicador de intensidade energética, mas um indicador económico camuflado.

Naturalmente, que o operador não consegue determinar com objectividade qual será o valor do VAB no final do ARCE, mas num contexto económico estável (não representado na tabela 4.1) será possível prever a sua evolução num horizonte de 6 a 8 anos.

No SGCIE está também referido que o cálculo do VAB deve ser realizado a preços constantes considerando o índice de preços do consumidor (ver 3.9.2). Porém, este ajuste não é suficiente quando comparado com as variações do VAB. Comparando, por exemplo, os anos de 2006 e 2008, a taxa de variação média anual do índice de preços no consumidor foi de 3,1% e 2,6%, respectivamente, ou seja, uma diferença de cerca de 0,5%. Para um período maior, 2004 a 2008, a diferença entre os índices foi ainda mais atenuada, cerca de 0,2% [38].

De referir que para a presente dissertação não foi possível obter, do Instituto Nacional de Estatística, valores do índice de preço no consumo entre os anos considerados na tabela 4.1.

O Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP) sugere metodologias de ajuste de modo que medições feitas em períodos diferentes sejam comparáveis. No entanto, o IPMVP, ainda que inclua orientações para cálculos de índole económica como na determinação do melhor esquema de preços de energia, tem por objectivo a avaliação de grandezas energéticas, não sendo adequada a sua utilização no VAB.

Tendo em consideração as situações referidas, sugere-se que seja retirada do SGICE a obrigatoriedade no estabelecimento de metas de redução no indicador de intensidade energética (IE), exceptuando-se os casos em que o indicador Consumidor Específico de Energia (CEE) não é aplicável. São exemplos desses casos instalações com múltiplas unidades de produção dada a diversidade de sector. Isto é, empresas com várias linhas de produto, com significativos consumos das frotas de transporte - não superior a 500 tep/ano [39] -, nas quais haja prestação de serviços, ou entre outras situações, não são enquadráveis no CEE, impossibilitando a definição de metas de redução.

Por conseguinte, é sugerido que o valor de IE continue a ser mencionado no relatório de auditoria e do PREn a entregar à ADENE após a empresa de CIE ser auditada e no último REP que finaliza o ARCE, referindo-se, porém, se o mesmo está ou não sujeito a uma meta de redução.

4.1-3. - Consumo específico de energia (CEE)

O SGCIE define o indicador através da seguinte fórmula [19]:

$$CEE = \frac{\text{consumo total de energia (kgep)}}{\text{volume de produção (unidade de produção)}} \quad (4.4)$$

Onde,

CEE: Consumo específico de energia, expresso em (kgep/unidade de produção).

Apesar de ser considerado no SGCIE um indicador não obrigatório, este é, de entre os referidos, o indicador que melhor exprime a eficiência da energia utilizada, pela incorporação da produção, a variável que no contexto dos CIE mais influencia os consumos.

O carácter não obrigatório do CEE advém da dificuldade de conjugar instalações com diversos tipos de produtos e ou unidades de produção, como, também, devido a outras circunstâncias referidas em 4.1.2. Estas situações no Regulamento de Gestão do Consumo de Energia (RGCE) - regulamento anterior - eram tratadas através da desagregação do CEE por unidade de produção, criando vários indicadores e metas para cada um [16]. Uma abordagem também defendida pelo SGCIE no caso de instalações multi-produtos [25], sem, no entanto se verificar a atribuição de metas a cada um dos indicadores, apenas um CEE que possua uma unidade de produção geral, como por exemplo “Número de peças produzidas”.

A unidade escolhida não é necessariamente representativa das diferentes actividades nos sectores dentro da instalação. Daí a importância da desagregação que possibilitará a melhor capacidade de ajuste do consumo às variações das unidades de produção, permitindo também uma justificação dos desvios mais evidente e adequada ao contrário do que aconteceria utilizando apenas o indicador CEE geral.

O SGCIE define que a auditoria seja orientada para o ano de referência. Porém, quanto mais alargado o histórico de dados, maior é a capacidade de caracterizar o consumo em função da produção.

Ainda que pelo CEE a relação entre ambos possa parecer linear, numa análise mais pormenorizada, o consumo varia não linearmente com a produção, à semelhança das curvas características dos vários equipamentos eléctricos e térmicos. Porém, este comportamento também pode advir da existência de múltiplas linhas de produção, originando uma função escalonada. A figura 4.1 ilustra um exemplo tipo desta situação, cujos dados de electricidade (kWh) e produção (m^3) são reais e provenientes de uma instalação com consumos intensivos de energia (CIE):

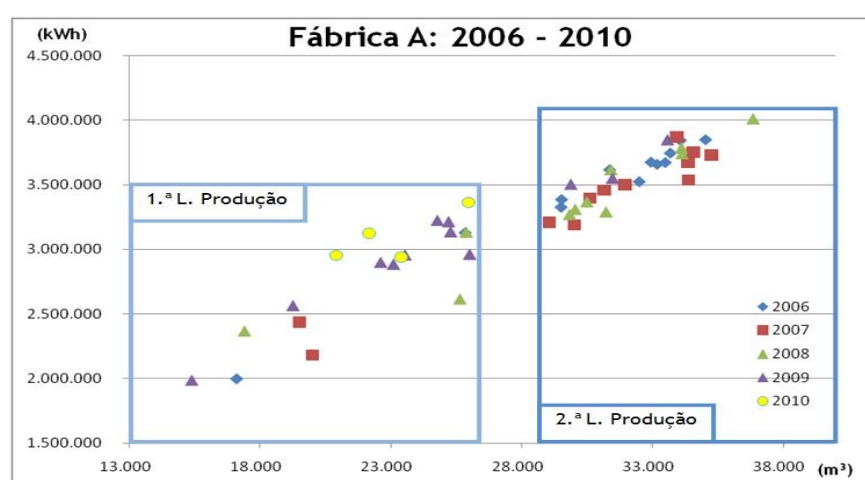


Figura 4.1 - Fábrica A com a actuação da 1.ª e 2.ª linhas de produção

Ainda que na fábrica A seja identificável um sistema produtivo escalonado, também este caso pode ser aproximado por uma curva característica não linear do consumo em função da

produção que acompanha com elevado detalhe as variações presentes (ver mais à frente na figura 4.2).

De forma geral, para qualquer instalação com CIE todos os regimes do processo produtivo ficam identificados pela modelização matemática permitindo caracterizar as situações mais diferenciadas como são os momentos de baixa e elevada produção.

Designou-se, então, as referidas regressões de “características de produção”.

Nas figuras 4.2 e 4.3, são mostrados os estudos para quatro fábricas do mesmo sector, sendo que as fábricas B e A (também presente na figura 4.1) têm o mesmo tipo de produção, diferenciado do das fábricas C e B. Os dados são relativos ao período de 2006 a 2009.

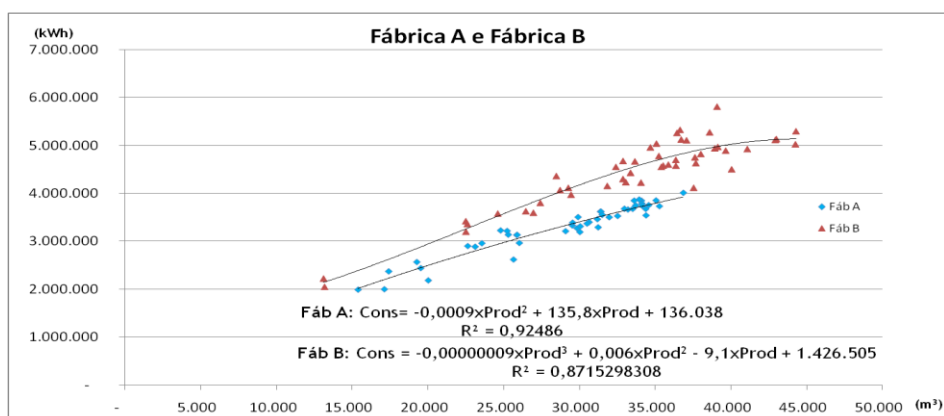


Figura 4.2 - Características de produção das fábricas A e B.

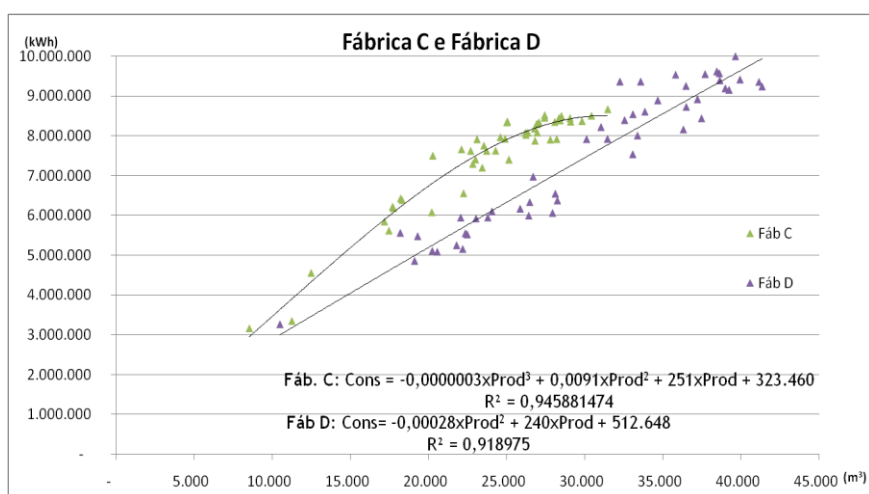


Figura 4.3 - Características de produção das fábricas C e D.

Nas figuras 4.2 e 4.3, onde se lê “cons” e “Prod”, deve ser entendido como consumo e produção, respectivamente.

A análise por modelização é um processo típico do Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP, da sigla inglesa).

Uma vez que a poupança não pode ser medida directamente é calculada através de valores obtidos em diferentes momentos, designados no IPMVP como período do consumo de

referência e como período de reporte para antes e após a implementação de Medidas de Racionalização de Energia (MRE), respectivamente (ver 2.2).

Uma vez implementadas, o comportamento da produção será alterado. Deste modo, a introdução dos dados de produção do período de reporte na característica de produção definida durante o período do consumo de referência possibilita o cálculo de quanto teria sido o consumo se as MRE's não tivessem sido executadas. Com os valores de consumo de ambos os período, é calculada a poupança.

As características de produção podem ser definidas usando para tal métodos numéricos como o método dos mínimos quadrados ou técnicas computacionais como redes neurais. Nos planos de Medição e Verificação (M&V) do IPMVP esta informação deve ser referida (ver capítulo 5).

Podem ainda existir empresas com diferentes sectores produtivos e como tal com diferentes produtos. Como mencionado, deve ser executada a desagregação obtendo um CEE por produto, porém, para a determinação do indicador CEE de toda a instalação que constará no ARCE, a característica a encontrar será multidimensional.

Considerando as fábricas A, B, C e D numa só instalação, a característica obtida através do método dos mínimos quadrados foi:

$$\begin{aligned} Cons = & -0,00047 \times P_A^2 + 136 \times P_A - 0,000000094 \times P_B^3 + 0,006 \times P_B^3 - 0,0005 \times P_B - \\ & 0,0000003 \times P_C^3 + 0,0092 \times P_C^2 + 254 \times P_C - 0,000319 \times P_D^2 + \\ & 238 \times P_D + 2260498 \end{aligned} \quad (4.5)$$

Onde,

Cons: Consumo, expresso em tep,

P_A : Produção da fábrica A, expresso em m^3 ,

P_B : Produção da fábrica B, expresso em m^3 ,

P_C : Produção da fábrica C, expresso em m^3 ,

P_D : Produção da fábrica D, expresso em m^3 .

Encontrar uma característica que aproxime o consumo total de uma instalação multi-produto com um erro baixo é indicativo que o CEE é aplicável à empresa em auditoria e como tal constará do Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE) com a inclusão de uma meta de redução.

A expressão 4.5 teve um erro médio quadrático de 601.819, um valor substancialmente baixo considerando que os valores de consumo são da ordem das dezenas de milhão.

Contudo, não só o processo produtivo é motivador de consumos. É necessária energia para colmatar as perdas e consumos auxiliares como iluminação, climatização, entre outros. Os termos independentes das regressões (ver figuras 4.2e 4.3) identificam esses consumos “fixos”, que de outra forma não seriam possíveis de estimar, impossibilitando assim a avaliação do potencial de poupança no momento da auditoria.

4.1-3.1. - Medição do desempenho energético e do potencial de eficiência sem investimento

As características de produção identificam um comportamento genérico e abrangente do processo produtivo. Por conseguinte, estabelecem uma “fronteira” de eficiência. Isto é, todos os pontos acima da característica são mais ineficientes e, por outro lado, todos os valores abaixo representam períodos de maior eficiência. Quanto mais próximos ou afastados estiverem os pontos, melhor ou pior foi o desempenho energético global.

A fórmula 4.6 calcula a “distância” referida:

$$DE = \frac{\sum_i (CC(P_i) - C_i(P_i))}{\sum_i CC(P_i)} \quad (4.6)$$

Onde,

DE: Desempenho Energético

CC(P_i): Consumo característico do valor de produção no período i

C_i(P_i): Consumo real i do valor de produção i

Utilizando dados mensais de consumo e produção o desempenho energético (DE) soma todos os valores de eficiência permitindo obter a eficiência energética anual.

Replicando o método para os vários anos, estuda-se a evolução do DE na instalação.

Na figura 4.4 e 4.5 são ilustrados para a fábrica A e C (exemplo de uma instalação por tipo de produto) os valores do DE entre os anos de 2006 a 2009.

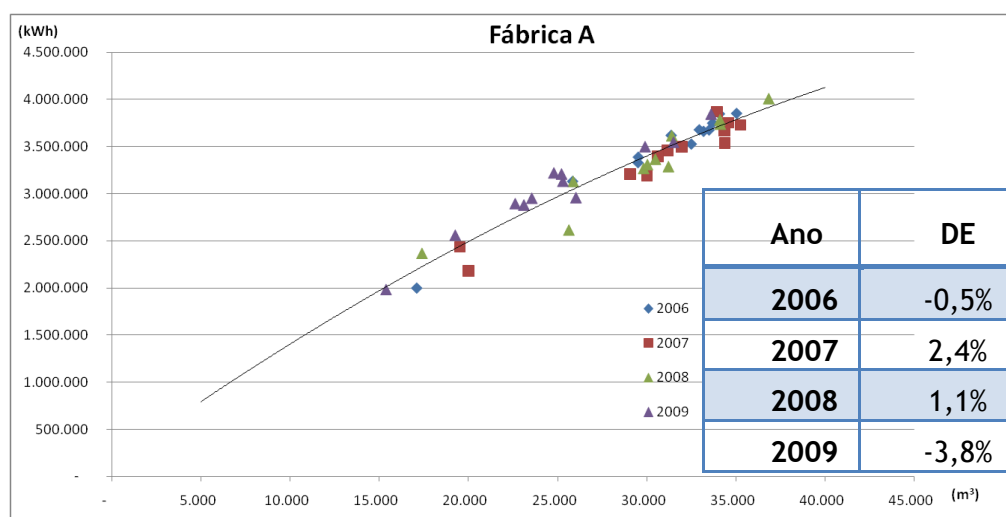


Figura 4.4 - Desempenho energético da fábrica A entre 2006 e 2009

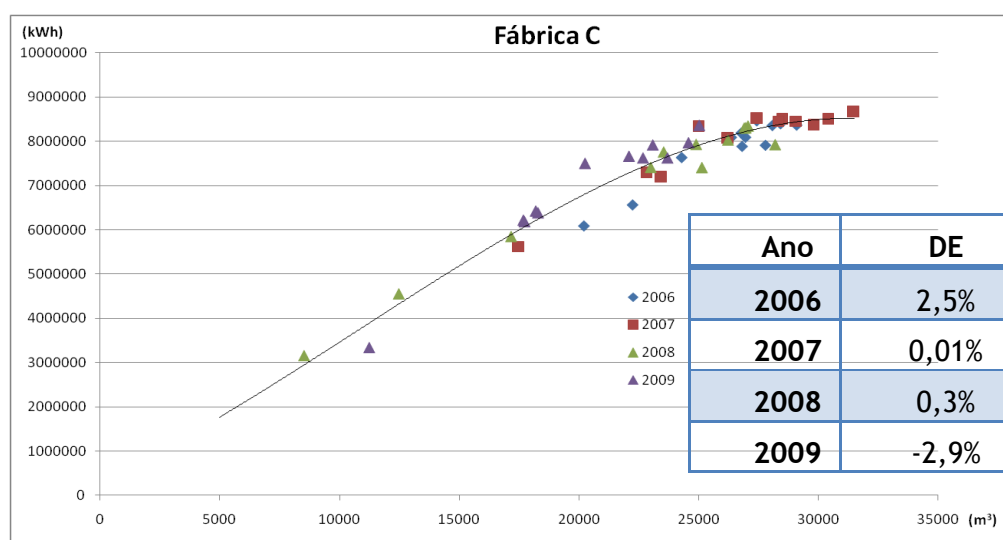


Figura 4.5 - Desempenho energético da fábrica C entre 2006 e 2009.

Da fórmula 4.6 e observando as figuras 4.4 e 4.5, percebe-se que os valores de desempenho energético (DE) positivos indicam uma maior predominância relativa abaixo da característica de produção, ou seja, uma maior eficiência no ano em análise. Pelo contrário, valores de DE negativos, indiciam anos menos eficientes.

Tanto na fábrica A como na fábrica C as variações entre anos são significativas. Considerando a primeira das instalações entre o período de 2006 a 2007, o DE aumenta cerca de 3% que representa mais de metade das reduções mínimas do SGCIE em empresas de CIE entre 500 a 1000 tep/ano (meta mínima de 4%). Naturalmente, a análise inversa também se aplica, veja-se o caso da mesma fábrica para o período entre 2008 e 2009 (- 4,8%), agravando a capacidade de cumprimento das metas estabelecidas no ARCE.

O CEE constitui uma forma alternativa de avaliar o desempenho energético anual e entre anos. Porém, as variações são diferentes transmitindo ao operador diferentes perspectivas da eficiência da instalação.

As tabelas 4.4 e 4.5 comparam as variações da eficiência entre anos consecutivos, permitindo avaliar a sua evolução e magnitude.

Tabela 4.4 - Valores de DE e CEE para a fábrica A, evidenciando as variações entre anos consecutivos

Fábrica A	Ano	DE	Variação	CEE	Variação
	2006	-0,5%		112	
	2007	2,4%	2,9%	109	2,8%
	2008	1,1%	-1,3%	112	-1,9%
	2009	-3,8%	-4,8%	122	-8,7%

Tabela 4.5 - - Valores de DE e CEE para a fábrica C, evidenciando as variações entre anos consecutivos.

Fábrica C	Ano	DE	Variação	CEE	Variação
	2006	2,5%		299	
	2007	0,01%	-2,5%	300	-0,4%
	2008	0,3%	0,3%	315	-4,6%
	2009	-2,9%	-3,2%	340	-7,5%

Fica patente pela observação das tabelas 4.4 e 4.5, que a análise da evolução da eficiência em ambas as fábricas é diferente de um indicador em comparação com o outro. Existem inclusive situações contraditórias, como na fábrica C, que de 2007 para 2008 pelo DE a eficiência melhorou em 0,3%, ao contrário da indicação do CEE que mostra uma menor prestação energética em 4,6%.

O Desempenho Energético constitui um indicador da eficiência energética da instalação possibilitando avaliar a evolução do uso racional de energia no processo produtivo, ao mesmo tempo que são reconhecidos os períodos com os processos produtivos mais otimizados e a sua gama de eficiência, a qual em valor absoluto pode indicar a margem de melhoria interna dos consumos.

Por conseguinte, se for considerado o valor absoluto da diferença na fórmula 4.6, é obtido o desvio absoluto do desempenho energético (DADE) enunciado na fórmula 4.7.

$$DADE = \frac{\sum_i |CC(P_i) - C_i(P_i)|}{\sum_i CC(P_i)} \quad (4.7)$$

Com a determinação do DADE fica estabelecido o potencial de eficiência sem investimento, isto é, capacidade interna da instalação em ser mais eficiente otimizando procedimentos, rotinas, processos produtivos que já estiveram em prática nos períodos com melhores valores de DE.

A otimização dá-se por práticas já conhecidas, o que significa uma curva de aprendizagem muito reduzida, aumentando, assim, a rapidez na sua possível implementação.

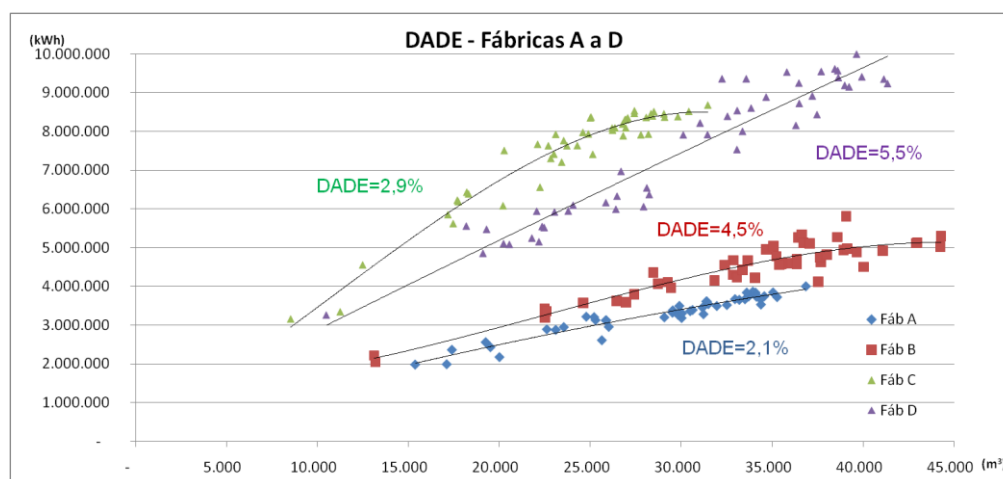


Figura 4.6 - Desvio Absoluto do Desempenho Energético (DADE) das fábricas A, B, C e D

Como referido as instalações C e D fabricam o mesmo produto. Porém, pela análise da figura 4.6 a primeira dá indicações de ser mais eficiente que a fábrica D.

Comparações do DADE entre empresas com o mesmo sector produtivo possibilitam uma melhor percepção das sinergias a explorar com vista à optimização do processo produtivo e aumento da competitividade.

As empresas de CIE têm diferentes potenciais de poupança, o que poderá condicionar a actuação do SGCIE para os casos em que as instalações já se encontrem muito optimizadas. Por conseguinte, o ideal seria definir metas de racionalização mediante a margem de eficiência da instalação quer por optimização de rotinas e procedimentos quer por alteração ou substituição de equipamentos.

Ainda que o DADE não possibilite essa definição de metas, ele fornece um primeiro valor de referência mínima ao potencial de poupança; valor, a partir do qual e em conjugação com as possíveis MRE's do programa de implementação do SGCIE deve ser calculada a meta de redução.

De salientar que à medida que o ARCE vai sendo cumprido, com a execução das MRE's, a característica de produção da instalação anteriormente desenhada terá de ser actualizada englobando as alterações realizadas.

Uma alternativa ao estabelecimento de metas individualizadas por instalação seria a definição de metas por tipo sector empresarial. Ainda que seja uma solução que não abranja com detalhe os contextos energéticos próprios de cada empresa, a determinação desta meta será mais identificativa do sector comparativamente à utilização de um valor fixo (4% ou 6%) para qualquer instalação de consumos intensivos de energia.

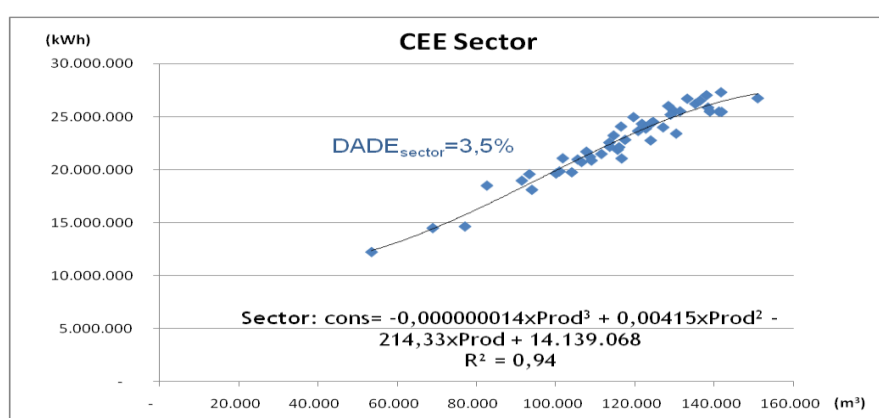


Figura 4.7 - Característica de produção do sector das fábricas A, B, C e D, definindo também o valor da meta DADE.

Sendo que as fábricas A, B, C e D, pertencem ao mesmo sector empresarial, a figura 4.7 consta da agregação das mesmas e do cálculo do DADE, que no contexto referido constituiria a meta mínima (3,5%) para este tipo de empresas.

De referir, que quanto maior o diferencial entre os valores DADE de cada empresa, maior será o DADE do sector, penalizando de certa forma, as empresas mais optimizadas e atenuando a meta para as instalações menos eficientes. Contudo, novamente se refere que sendo um valor obtido tendo em conta as características do sector será mais ajustado do que uma meta fixa transversal a qualquer instalação com CIE. A acrescentar ainda que o DADE constitui um valor mínimo ao qual deveria ser aplicado o mesmo sistema de penalidades previsto no SGCIE, isto é, a partir de desvios de 25% da meta acordada.

Todas as análises mencionadas em 4.1.3 estão afectas de uma incerteza, como tal, os estudos que as englobem devem seguir os princípios do IPMVP, nomeadamente avaliando as poupanças de forma conservadora.

Nota: Por razões de confidencialidade, mais informações relativamente aos dados analisados não podem ser divulgados.

Neste subcapítulo, 4.1, para além de criticados os indicadores, foram sugeridas diferentes abordagens para a avaliação do desempenho energético desenvolvidas a partir dos princípios e procedimentos do IPMVP.

Em 4.2, a perspectiva de estudo foi diferente. Tendo por base as normas definidas no SGCIE, foram exploradas as possibilidades de enquadramento do IPMVP no regulamento nacional.

4.2- Introdução da Medição e Verificação (M&V) no SGCIE

Para determinação e controlo dos indicadores e respectivas metas de redução, foram incluídos no SGCIE os elementos a considerar para a realização de auditorias energéticas, para a elaboração do plano de racionalização energética (PREn) e dos relatórios de execução e progresso (REP) (ver 3.8 e 3.9). Ainda que sejam dadas instruções para os vários momentos do estudo energético da instalação, o mesmo não acontece relativamente aos procedimentos de medição e verificação. O processo de obtenção e análise da informação é referido de forma genérica, o que poderá comprometer a viabilidade dos cálculos da poupança e execução das metas estabelecidas.

Nos pontos seguintes são abordadas estas situações fazendo um enquadramento no Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP) e evidenciando a complementaridade ao SGCIE:

4.2-1. - Medição na auditoria

Nos elementos a considerar na realização de uma auditoria, presentes no despacho n.º 17449/2008 da Direcção-Geral de Energia e Geologia, constam um conjunto de acções que implicitamente necessitam de medições, calibradas e monitorizadas pela equipa auditora, quer de consumos de energia quer de outros parâmetros como por exemplo caudais de gases e líquidos, grandezas eléctricas, temperatura, entre outros [25]. Concretizando a referida necessidade, é referido no mesmo despacho a obrigatoriedade de quantificar os consumos energéticos quer por instalação global quer por principais sectores e ou equipamentos; efectuar a inspecção visual, complementando com as medições necessárias a todos os sistemas e equipamentos consumidores de energia e não apenas aos principais; nos equipamentos grandes consumidores eléctricos e térmicos, obter diagramas de carga eléctricos e realizar balanços de massa e energia, respectivamente; e ainda, as medições serão úteis para identificar e quantificar as possíveis áreas de poupança de energia e também para determinar os consumos específicos de energia de forma a comparar com valores mensais e anuais [25]. Para além dos elementos estipulados existem situações que reforçam essa necessidade nomeadamente quando os dados de consumo são provenientes apenas de

facturas de energia, que se referem com frequência a toda a instalação, dificultando a desagregação dos sectores e ou equipamentos grandes consumidores. Pode, também, suceder-se a falta pontual destes documentos e ou o desfasamento temporal na emissão de facturas de diferentes fontes de energia, comprometendo a construção de um diagrama de consumos - a primeira base de análise energética da instalação.

O SGCIE apenas identifica as áreas de medição e a sua utilidade mas não faz qualquer referência ao processo, ao modo como os dados são obtidos e qual garantia da sua validade.

Em contrapartida, o IPMVP tem definido um conjunto de acções que regem o processo de medição e consequente verificação.

4.2-1.1. Identificação de parâmetros caracterizadores do consumo

O protocolo internacional não se foca apenas na medição do consumo mas também em todos os parâmetros que se considere explicadores das variações do mesmo, podendo alguns deles serem estimados em vez de medidos. Com esta informação tratada, é possível fornecer ao auditor uma imagem do ciclo de funcionamento do equipamento e ou sistema, e ainda estabelecer os limites de medição [6].

Os parâmetros podem ser definidos como variáveis independentes, factores estáticos e efeitos interactivos:

- Variáveis independentes:

Parâmetros associados ao funcionamento das instalações (como a ocupação, a produção) ou de origem exterior (como o clima, por exemplo) que podem influenciar o consumo de energia de forma regular. Assim que se determine quais as variáveis independentes com forte correlação¹ com o consumo de energia, deverão ser construídos modelos matemáticos, baseados por exemplo em regressões, de forma a efectuar os ajustes periódicos ao consumo de referência. Nos casos em que se recorre a medição isolada de equipamentos (Opção A ou opção B), a definição das variáveis é importante para se estabelecerem os parâmetros que devem ser estimados ou medidos [6].

A título exemplificativo, refira-se a optimização de uma central *chiller*, no qual se sabe primeiramente que o consumo é afectado pela carga de água refrigerada e pela eficiência da central *chiller*. No caso da opção B, ambas as variáveis seriam medidas no mesmo período. Para a opção A, a eficiência da central *chiller* seria escolhida como parâmetro-chave, i.e., variável medida que permite avaliar o desempenho energético da Medida de racionalização de Energia (MRE), enquanto a carga de água refrigerada será um parâmetro estimado. A escolha é justificada pela reduzida variabilidade da carga de água refrigerada e pelo facto da eficiência da central *chiller* ser o objectivo da MRE. O auditor poderá considerar relevante a inclusão de outras variáveis como a temperatura de entrada da água refrigerada, desde que as mesmas tenham uma forte correlação com o consumo [6].

A produção seria possivelmente uma das variáveis mais utilizadas num plano de M&V efectuado para o SGCIE, dado que integra um dos indicadores de eficiência e afecta directa ou indirectamente os consumos de equipamentos nas instalações de consumos intensivos de energia (CIE).

¹ Correlação, também chamada de coeficiente de correlação, indica a força e a direcção do relacionamento linear entre duas variáveis aleatórias. No IPMVP, o R^2 , um dos índices de avaliação estatística, é aceitável para valores superiores a 0,75.

- Factores estáticos:

Parâmetros dos quais não se esperam alterações com uma regularidade definida. Surgem de mudanças inesperadas ou únicas das condições que ocorrem após o período do consumo de referência. São exemplos de factores estáticos: mudanças de turno não programadas, nova linha de produção, expansão da instalação, mudança na matéria-prima, novos *setpoints* de temperatura, de ventilação, maiores perdas ou ganhos de equipamentos fora da fronteira de medição, entre outros [6],[27].

- Efeitos interactivos e interacções entre MRE:

Existem situações em que à fronteira de medição criada para a avaliação de uma MRE, escapam fluxos energéticos que poderão influenciar o consumo energético de outros equipamentos e interagir com fronteiras de medição definidas para a implementação de mais MRE's. A magnitude destes efeitos sempre que seja significativa deverá ser quantificada, de forma a estimar o seu contributo e influência na poupança. Pelo contrário, poderá ser ignorada desde que tal seja justificado no plano de Medição e Verificação (M&V) [6].

Um exemplo típico está relacionado com as medidas de racionalização de energia na iluminação. De forma a reduzir as necessidades de alimentação, a fronteira de medição deve incluir a potência das lâmpadas. Porém, reduzir os consumos eléctricos de iluminação tem por consequência a diminuição da radiação para o ambiente, baixando, assim, as condições de refrigeração e ou aumentando as condições de aquecimento [27].

4.2-1.2. Definição da fronteira de medição

A área de medição está primeiramente dependente do tipo de avaliação que se pretende executar: poderá ser objectivo analisar o desempenho de apenas um equipamento ou de toda a instalação. Como está referido no IPMVP, a fronteira de medição pode ser tão estreita quanto o fluxo de energia através de um tubo ou condutor eléctrico, ou tão larga quanto o consumo total de energia de um ou muitos edifícios [6].

Mediante o interesse do projecto, o IPMVP define opções para medição isolada (opção A e B), para medir toda a instalação (opção C) e medição para simulação, Opção D (ver 2.4).

No SGCIE, terão interesse os processos de medição isolados para o estudo de cada MRE e ainda a opção C para a M&V dos indicadores de eficiência do regulamento.

Voltando ao exemplo da central chiller de 4.2.1.1, a fronteira de medição inclui os parâmetros justificados pelo auditor como relevantes para explicar o consumo e retira outros menos relevantes, analisando também os efeitos interactivos decorrentes da possível melhoria da central chiller. A figura 4.8, ilustra a área de medição e respectivos parâmetros:

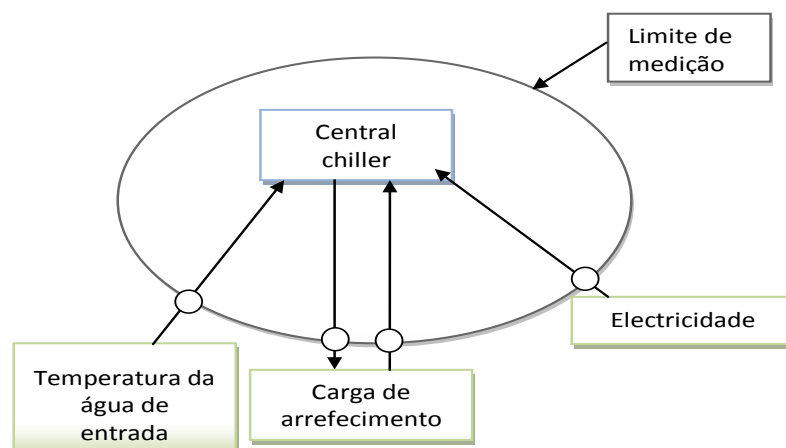


Figura 4.8 - Exemplo de fronteira de medição para um projecto de melhoria de uma central chiller.

Utilizando a opção B, os vários parâmetros que possam afectar o consumo são medidos. Neste caso para determinar o parâmetro “eficiência da central chiller” seria medido o consumo eléctrico da central e a energia térmica da carga de arrefecimento que é produzida. O volume da carga de água para arrefecimento e a temperatura da água de entrada seriam os restantes parâmetros a serem medidos. Porém, a correlação da temperatura com o consumo seria insignificante e como tal não se estudaria a sua influência. Relativamente aos efeitos interactivos, mediante a situação teriam de ser analisados e, em consequência, eventualmente quantificados.

4.2-1.3. Duração do período de medição

Como mencionado no capítulo 3, o IPMVP define dois períodos de medição: antes e após a implementação da MRE, o período do consumo de referência e o período de reporte, respectivamente. Esta definição é crucial para a determinação da poupança em períodos comparáveis. No SGCIE, efectua-se o estudo dos consumos durante a auditoria, podendo o auditor justificar ou não os seus procedimentos. Contudo, após a implementação das medidas de racionalização, a poupança é verificada pela medição dos indicadores do SGCIE bianualmente, durante o período de elaboração dos Relatórios de Execução e Progresso (REP).

4.2-2. - Justificação dos desvios

Com a introdução de penalidades em circunstâncias do não cumprimento das metas definidas e da não implementação das medidas estipuladas no PREn, os desvios adquirem uma nova importância: desvios das metas contratualizadas podem implicar perdas económicas e ainda o pagamento de incentivos provenientes do fundo de eficiência energética pelo operador da instalação [19]. Neste sentido, o SGCIE refere tanto para a auditoria como nos vários momentos de acompanhamento da execução do PREn a importância da verificação, justificação e correcção de desvios [25]. Ainda que, o novo regulamento esteja atento às

acções correctivas tomadas, existem situações nas quais, uma vez executadas as MRE's previstas para o período em análise, se verificam desvios, não apenas pelo incumprimento do programa de implementação ou deficiente instalação e ou utilização das MRE's, mas em consequência das alterações de parâmetros que condicionam o consumo.

Caso na auditoria haja a recolha de informação não só do consumo do equipamento e ou sistemas mas também dos aspectos que poderão fazê-lo variar, i.e., variáveis independentes e factores estáticos, o IPMVP permite a correcção de desvios através de ajustes periódicos e não-periódicos ao cálculo da poupança [6].

Segundo a equação 2.1 do capítulo 2, a poupança, calculada por evitação de custo, é definida como:

$$\text{Poupança} = (\text{Consumo do período de referência} - \text{consumo do período de reporte}) \\ \pm \text{ajustes ao período de referência}$$

Desta forma, caso aconteçam variações válidas no período após a implementação da MRE (período de reporte), a poupança esperada não é a diferença entre as medições dos dois períodos, será a diferença referida com os valores do consumo de referência ajustados, ou seja, nas mesmas condições do consumo do período de reporte. Por conseguinte, é garantida uma comparação nas mesmas circunstâncias, beneficiando por um lado o operador, que por situações normais de operação ou factores climáticos menos típicos conduzissem a um aumento de consumo após a execução da MRE, e por outro lado aumentando também a confiança na fiscalização dos REP's e cumprimento do ARCE.

De referir que, os ajustes periódicos estão associados a alterações das variáveis independentes, conduzindo a variações do consumo de referência através da modelação matemática previamente estabelecida; os ajustes não-periódicos são resultantes de factores estáticos modificando o consumo em gamas facilmente reconhecíveis.

4.2-3. Incerteza nos resultados e cálculo da poupança

Sendo a poupança obtida com base em medições e ou estimativas, haverá sempre um erro associado que variará consoante a precisão estabelecida [6].

Uma maior incerteza implica valores menos confiáveis de poupança e daí um maior risco no cálculo do período de retorno do investimento (PRI) das MRE's, uma maior probabilidade de desvios aos indicadores contratualizados e decorrente pagamento de penalidades e ainda um consequente incumprimento das metas nacionais para a eficiência energética. Porém, aumentar a precisão da poupança acarreta custos de medição e verificação que poderão comprometer as economias de energia esperadas. Terá de haver, assim, um equilíbrio entre os gastos em M&V e a poupança estimada considerando uma precisão/incerteza adequada [6]. O SGCIE apesar de referir mecanismos de cálculo da incerteza (ver 3.8.4) não faz alusão à regulação deste equilíbrio. O operador poderá com frequência não ter percepção de como o *trade-off* é estabelecido e até da margem de manobra para o adaptar às suas exigências. Isto é, a definição da incerteza, e consequentes custos de M&V nas medidas, está directamente relacionada com a análise da magnitude provável dos desvios aos indicadores de eficiência e ao cálculo do período de retorno do investimento (PRI). Acrescentando que, o estudo da

incerteza também estipula a qualidade da estimativa de poupança. Porém, quando é mencionada a margem de manobra das exigências do operador no *trade-off*, não se está apenas a referir ao processo de informação e acordo da empresa auditora com o mesmo sobre os custos de M&V em relação ao potencial de poupança, mas também a possibilidade de outras medidas com um retorno de investimento, à partida, superior ao definido no SGCIE serem estudadas. Apesar de o regulamento estabelecer que a redução dos indicadores pelas metas definidas será obtida a partir do programa de implementação do ARCE, isto é, através das medidas cuja recuperação seja inferior a três ou cinco anos - mediante o tipo de consumidor intensivo de energia - não existe qualquer impedimento de serem incluídas, no relatório a entregar à ADENE, outras acções de eficiência energética que não se enquadrem nos requisitos do PRI [19].

O operador poderá contratualizar com a empresa auditora o estudo de MRE's que não venham a constar no ARCE, sendo que, neste caso, a definição da precisão e custo da M&V não têm qualquer restrição externa, nomeadamente, penalidades por incumprimento, mas apenas o maior ou menor interesse do operador nos resultados.

O IPMVP estabelece um limite na relação entre custos de M&V e poupança, de forma a orientar as equipas auditoras no cálculo de precisão, e mantendo o princípio que o protocolo deve ser conservador, avaliando a poupança por baixo. É definido que os gastos médios anuais de M&V não ultrapassem 10% do valor da poupança média anual a ser avaliada [6]. A mesma relação poderá ser utilizada para o SGCIE. Para a contabilização das despesas em M&V devem ser considerados, numa fase inicial os custos de auditoria da entidade ou técnico(s) credenciado(s), as taxas de apreciação e acompanhamento do PREn a reverter para a ADENE, os gastos na compra de equipamentos e sistemas de gestão e monitorização de consumos e outros custos fixos. O seu total é dividido pelos anos de duração do ARCE, de forma a estabelecer um valor anual. De notar que esta é uma estimativa de custos majorados, que poderá e deverá ser ajustada entre o operador e auditor, dada, por exemplo, a utilidade e durabilidade dos equipamentos e sistemas de gestão e monitorização, largamente superior à extensão do ARCE. Outros factores que poderão atenuar os custos são os incentivos provenientes do fundo de eficiência energética, que estão, não entanto, dependentes das disponibilidades do mesmo.

Uma vez calculados todos os custos fixos de M&V, são estimadas despesas anuais de manutenção e monitorização - normalmente da responsabilidade do operador - necessárias ao cumprimento do plano de M&V. Findado este estudo, podem ser estimados os custos de M&V e poupança médios anuais.

É sugerido que o limite de encargos com a M&V em 10% da poupança seja fraccionado de modo a poder incorporar despesas com a elaboração dos relatórios de execução e progresso, que poderão atingir o máximo de 3%, ficando os restantes encargos com um limite de 7% da poupança anual média. Caso o operador contratualize a mesma empresa auditora para ambas as situações, o valor será de 10%. Esta divisão, 7% e 3%, é meramente indicativa, tendo sido considerado que os custos relativos ao REP's são substancialmente inferiores aos restantes. Porém, um estudo menciona uma distribuição dos custos de M&V mediante a opção escolhida [28]:

- Opção A: 1-5%
- Opção B: 3-10%
- Opção C: 1-3% (no caso do contador já estar instalado)
- Opção D: 3-10%

No contexto do SGCIE, para os casos em que há necessidade de individualizar os custos de M&V associados aos REP's, os limites máximos sugeridos no estudo, são de 7%. A opção D, que especifica os valores de consumo e parâmetros por simulação, não é considerada no âmbito da M&V no SGCIE.

Relativamente aos preços da energia para determinar os custos evitados, apesar de IPMVP usar uma metodologia que estipula o preço ou programa de preços (caso de tarifários eléctricos) com base nos valores do período de reporte [6], a repercussão desta prática no SGCIE conduziria a uma contínua actualização dos preços ao longo do ARCE. Esta metodologia possibilita uma maior validade dos cálculos, porém, impede, no âmbito do regulamento nacional, a definição, antes da entrada em vigor do ARCE, do período de retorno do investimento (PRI) de cada MRE, um indicador basilar para a inclusão ou exclusão das medidas no programa de implementação do PREn.

De salientar que, nas circunstâncias em que o operador contratualize com a empresa auditora o estudo de outras medidas que não irão constar no ARCE e que por se terem revelado técnica e ou economicamente desinteressantes não serão implementadas, os custos de M&V são superiores em relação à poupança do conjunto de medidas que serão executadas. Nestas situações os custos de M&V poderão ultrapassar os 7% ou 10% anuais estabelecidos. A equipa auditora deve ter presente a possibilidade da ocorrência destes acontecimentos.

4.2-4. Uniformização de procedimentos e reporte de informação

Após a conclusão da auditoria, e até terminar o ARCE, são entregues on-line e em documento o PREn e os vários REP's. O primeiro elaborado pela empresa auditora e os relatórios de execução e progresso por técnicos ou entidades credenciados, com a particularidade de que a execução do último relatório fica ao cargo de uma entidade ou técnico escolhido pela ADENE, que não tenha intervindo em qualquer dos anteriores documentos.

É perceptível que durante o processo entre novas auditorias, poderão ser vários os intervenientes no reporte da informação, tendo inclusive, para a elaboração dos REP's, de analisar e conjugar conteúdos de documentos precedentes.

Para a elaboração dos documentos, é antes de mais requerido o levantamento e tratamento dos dados sobre a instalação na auditoria e a definição dos indicadores e respectivas metas de redução, assim como o programa de implementação das medidas. O SGCIE contempla orientações tanto para a realização da auditoria como para a elaboração do PREn, não permitindo à empresa auditora decidir sem qualquer restrição a orientação e conteúdo do seu trabalho. Todavia, e como já tem sido referido nos tópicos acima, as referências no regulamento sobre os procedimentos no registo e análise dos dados, quer recolhidos quer a recolher, são vagas. O mesmo acontece nos REP's no que se refere ao tratamento dos desvios nos indicadores.

A uniformização de procedimentos seria uma mais-valia para a credibilização e transparência de todas as actividades de M&V nos dados obtidos e consequentemente nos indicadores. Proporcionaria o reporte de informação de forma consistente entre os intervenientes nas diferentes etapas do processo de eficiência energética da instalação. A

utilização dos planos de M&V ao abrigo do IPMVP, incluídos no documento final da auditoria e do PREn, garantiria a uniformização referida.

No entanto, esta não seria uma mais-valia unicamente para a instalação auditada, mas um instrumento útil de avaliação e comparação: a standardização dos procedimentos proporcionaria à ADENE e DGEG um alargado conjunto de informação com a qual seria possível tipificar as melhores práticas de M&V por sectores de actividade e ou equipamentos/sistemas energéticos, incluindo, por exemplo, listas de variáveis independentes habituais, ajustes não-periódicos, períodos de reporte, entre outras informações; possibilitaria também uma fiscalização mais facilitada e transparente, contribuindo para uma ainda maior credibilização do SGCIE e sua evolução.

4.3- Princípios do IPMVP e seu enquadramento no SGCIE

A aplicação do Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético Conceitos (IPMVP) pressupõe que os processos de M&V, quer seguindo linearmente as estruturas sugeridas quer necessitando de efectuar alguns ajustes para que sua adaptação seja possível - como se verifica no caso em estudo - devem usar os princípios de M&V como orientação [6]. Deste modo, a análise seguinte irá enunciar os princípios de M&V como também observar o seu enquadramento no SGCIE.

O processo de M&V deve ser:

Completo e exaustivo:

Ao reportar a poupança de energia deve-se ter em consideração todos os efeitos de um projecto de eficiência. Algumas actividades de M&V podem ser medidas directamente, outras calculadas, simuladas ou estimadas [6].

Os três indicadores do SGCIE, a Intensidade Energética (IE), o Consumo específico de energia (CEE) e a Intensidade Carbónica (IC) não podem ser medidos directamente, sendo calculados com base em medições, especificamente em medições do consumo energético, na contabilização do VAB (Valor Acrescentado Bruto) e das emissões de gases de efeito de estufa, e da quantificação da produção na unidade definida [19]. A exaustividade no SGCIE está relacionada com o nível de detalhe da medição destas grandezas dentro da instalação. Ainda que o regulamento determine que devem ser considerados os valores do ano civil anterior à data da auditoria como os dados de referência [25], tal não invalida que haja o reporte de períodos precedentes, podendo assim proceder a uma caracterização mais completa e sustentada.

Precisos e conservadores:

A medição das grandezas mensuráveis deve ser a mais precisa possível, coadunando-se com o orçamento de M&V contratualizado e com o valor económico dos consumos evitados. Uma vez que as medições são afectadas de incertezas, os procedimentos de M&V devem ser concebidos para avaliar de forma conservadora a poupança [6].

O SGCIE também deve seguir este princípio na medição de consumos. Estando a precisão relacionada com o orçamento disponível para a M&V, devem ser seguidas as directrizes presentes em 4.2.3.

Consistente:

O relatório e o plano de um projecto de eficiência energética devem ser consistentes entre vários aspectos.

- Diferentes tipos de projectos de eficiência energética [6]. Neste aspecto no SGCIE também se pretende que haja consistência na avaliação de desempenho em diferentes instalações.
- Diferentes profissionais de gestão energética para qualquer projecto [6]. A predefinição de procedimentos de auditorias e a standardização de procedimentos através de formulários próprios, e ainda o processo de controlo e fiscalização da ADENE e DGEG, tentam garantir a consistência do serviço das entidades e técnicos credenciados.
- Diferentes períodos de tempo para o mesmo projecto [6]. A definição e controlo do Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE) estabelecido entre a DGEG e o operador, pressupõe a execução da auditoria e elaboração do PREn, como também o reporte de informação bianualmente nos relatórios de execução e progresso (REP's) [19]. No entanto, este processo poderá ser optimizado com o estabelecimento de períodos de consumo de referência e de reporte adaptáveis às diferentes medidas de racionalização de energia do mesmo projecto.
- Também deve haver consistência entre o que é consumo evitado e auto-produção [6]. A autoprodução é um aproveitamento do recurso endógeno cujo valor do kWh, na perspectiva do consumo é exactamente o mesmo que o kWh evitado. Nos indicadores do SGCIE considera-se a contabilização de apenas 50% da energia proveniente deste recurso [19].

Relevante:

A determinação da poupança deve medir os parâmetros de desempenho energético mais importantes, até os menos conhecidos, enquanto outros parâmetros menos críticos ou previsíveis podem ser calculados [6]. Este princípio pode ser garantido no SGCIE integrando nos seus procedimentos práticas recomendadas no âmbito de um protocolo de M&V.

Transparente:

Todas as actividades de M&V devem ser clara e completamente divulgadas. A divulgação completa deve incluir a apresentação de todos os elementos definidos para o conteúdo de um Plano de M&V e de um relatório de poupança [6]. O SGCIE contém relatórios de auditoria e plano de racionalização de consumos, mas não inclui um plano de M&V que garanta de forma directa a transparência do processo. Contudo, os relatórios de poupança do IPMVP constituem momentos de reporte de informação semelhante aos dos relatórios de execução e progresso (REP). Na adopção dos procedimentos de M&V do IPMVP ao SGCIE é sugerido que outros dados recolhidos durante e após o período de reporte necessários ao estudo da poupança sejam incluídos como anexos do REP seguinte (ver 5.2.1, ponto “Formato do relatório”).

4.4- Notas Finais

Embora o SGCIE não tenha sido desenhado com base em qualquer protocolo de medição ele inclui ou pode incluir de alguma forma todos os princípios de M&V.

A sua conjugação com o IPMVP, medindo e verificando quer os indicadores, nomeadamente o consumo específico de energia, quer cada MRE que conste no programa de implementação ou cujo estudo é do interesse do operador, requer a formalização documental de um plano de M&V que siga o protocolo.

Os planos devem ser avaliados por profissionais credenciados CMVP (Certified Measurement and Verification Professional), garantindo a conformidade com o IPMVP, sendo que, em Portugal decorreram, recentemente, os primeiros cursos internacionais para formar peritos CMVP [40].

Existindo os recursos humanos necessários à implementação do protocolo ao SGCIE, falta apenas, como referido, definir os procedimentos mais adequados às instalações consumidoras intensivas de energia ao abrigo do regulamento, isto é, a formulação de um plano de medição e verificação adequado ao SGCIE.

Capítulo 5

Definição de Planos de Medição e Verificação aplicados ao SGCIE

5.1- Introdução

A inclusão do Protocolo de Medição e Verificação (M&V) fará parte do documento que engloba o relatório da auditoria e o plano de racionalização de consumo de energia (PREn). No entanto, o PREn será englobado no plano de M&V da instalação, uma vez que este último conterá todas as informações daquele documento, incluindo, ainda, em anexo um sumário do programa de implementação das Medidas de Racionalização de Energia (MRE).

Neste sentido, as entidades e técnicos habilitados devem seguir as recomendações da DGEG no levantamento dos elementos necessários à realização da auditoria energética, isto é as alíneas *a*) a *n*) do despacho n.º 17449 de Junho de 2008 (Ver 3.8.3), sendo que no plano de M&V ficarão contempladas as informações obtidas nas alíneas *j*), *k*) e *l*), isto é:

- *j*) Determinar consumos específicos de energia durante o período de realização da auditoria, para posterior comparação com os valores médios mensais e anuais e detecção de eventuais variações sazonais;
- *k*) Determinar o quociente entre o consumo energético total e o valor acrescentado bruto (kgep/VAB) da actividade empresarial directamente ligada à instalação consumidora intensiva de energia, bem como, o consumo específico de energia (kgep/unidade de produção);
- *l*) Identificar e quantificar as possíveis áreas onde as economias de energia são viáveis, como resultado das situações encontradas/anomalias detectadas e medições efectuadas [25].

Complementando os dados recolhidos, outros, como as variáveis independentes para cada uma das Medidas de Racionalização de Energia (MRE), factores estáticos, importância de efeitos interactivos devem ser reportados. Todas as acções necessárias à execução bem sucedida do plano de M&V constam no conteúdo do mesmo.

5.2- Conteúdo de um plano de Medição e Verificação

Em, 5.2.1 e 5.2.2, serão abordados genericamente os conteúdos que devem constar no plano M&V, tendo cada ponto uma primeira explicação à luz das definições do IPMVP, seguida da possível adaptação para o SGCIE.

É sugerida, nesta dissertação, que o plano M&V incluído no relatório a entregar à Agência de Energia (ADENE) deve inicialmente referir-se a toda a instalação, fazendo a M&V dos indicadores de eficiência do SGCIE, especificando de seguida cada MRE.

No entanto, para que sejam compreensíveis os conteúdos do plano de M&V de acordo com o IPMVP, a próxima secção, 5.2.1, é referente à abordagem para cada MRE, sendo posteriormente analisada a M&V dos indicadores, em 5.2.2, que possui uma estrutura mais distinta da sugerida pelo IPMVP.

Em 5.3, o caso prático já será de acordo com a metodologia sugerida, i.e, M&V dos indicadores seguida da M&V de cada MRE.

De referir, por fim, que embora o Plano de M&V englobe o PREn, sempre que haja necessidade, ao longo deste capítulo, de referir o documento entregue à ADENE, onde constam, actualmente, as informações da auditoria e do PREn, este é designado de “relatório final”.

5.2-1. - Medição e Verificação das Medidas de Racionalização de Energia (MRE's)

O IPMVP define 13 tópicos necessários para a realização do plano de M&V, que poderão ser ajustados mediante as exigências do SGCIE:

Objectivo da MRE:

Descrição da MRE referindo qual a finalidade pretendida, de que forma será obtida e os procedimentos utilizados para verificar o sucesso da implementação da medida.

Fazendo a adaptação para o SGCIE, para além do exposto, indicar qual o peso do equipamento ou sistema no consumo total de energia da instalação juntamente com a poupança estimada.

Seleccionar a opção do IPMVP e definir a fronteira de medição:

Especificar qual a opção do IPMVP utilizada para determinar a poupança, indicando a data de publicação ou o número da versão e número do Volume da edição do IPMVP que foi utilizado. Estabelecer fronteira de medição apropriada e ainda descrever, identificando a relevância, dos efeitos interactivos resultantes da aplicação da MRE [6].

É definido no SGCIE que para cada medida incluída no Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE) deverá ser estudado a redução dos consumos de energia, identificando o impacto na diminuição dos indicadores de eficiência [25]. Deste modo, à luz do regulamento, a avaliação individual das medidas apenas poderá ser realizada utilizando opções do IPMVP de medição isolada, ou seja, opção A ou opção B (ver 2.4.3 e 2.4.4).

Contudo, a M&V de toda a instalação deve utilizar a opção C, como é explicado em 1.1.2, “Plano M&V de toda a instalação”, não podendo a opção D ser utilizada no SGCIE, uma vez que a definição de metas não pode ser baseada em simulações.

A escolha entre as opções de medição isolada deve ser justificada, principalmente no caso da opção A, fundamentando a escolha do parâmetro-chave, os elementos estimados e sua precisão.

Referência: Período, energia e condições:

Caracterizar as condições e dados do consumo de referência com base em documentos comprovativos [6].

A auditoria energética realizada ao abrigo das normas do SGCIE e ajustada às exigências do IPMVP (ver 5.1) fornece a informação suficiente para a caracterização referida.

Deve constar neste campo a informação recolhida durante o período do consumo de referência relativamente a [6]:

- A duração do período do consumo de referência: Englobar, pelo menos um ciclo completo de funcionamento do equipamento e ou sistema (ver 4.2.1.3). Normalmente, o período estende-se por mais do que um ciclo para garantir a confiança nos dados reportados.
- Dados de consumo e potência.
- Dados das variáveis independentes com forte correlação com o consumo de referência.
- Relevância dos efeitos interactivos, fora da fronteira de medição.
- Factores estáticos que possam influenciar o consumo. Alguns tipos de factores estáticos:
 - Densidade, período e tipo de ocupação;
 - Condições de funcionamento, não periódicas, do equipamento, sistema ou instalação para cada ciclo de funcionamento. Isto é, num exemplo industrial, em cada ciclo, poderá haver necessidade ou não, de alterar o número de turnos, o tipo de matéria-prima, de aplicar um diferente controlo da temperatura. Caso se verifique(m) forçará a um ajuste não periódico no consumo de referência;
 - Alterações das condições do consumo de referência de forma a estar regulado pelas condições exigidas. Por exemplo, caso um espaço não esteja a ser devidamente aquecido durante o período do consumo de referência, a implementação da MRE, irá não só melhorar a eficiência do sistema de aquecimento, como também regular a temperatura. Nestas circunstâncias, o consumo de referência será ajustado, sendo, assim, o cálculo da poupança efectuado nas mesmas condições quer antes quer após a implementação da MRE;
 - Inventário do equipamento e ou sistema: levantamento dos dados da placa de identificação, localização, caracterização do estado e condição. É recomendada a documentação em suporte fotográfico ou em vídeo. [6];
 - Práticas de funcionamento do equipamento (horários e pontos de acerto);
 - Problemas de funcionamento ou avarias durante o registo do período do consumo de referência.

Ainda a referir que a medição do consumo e de variáveis independentes devem acontecer no mesmo intervalo de tempo para uma correcta relação.

De salientar que para além dos dados referidos, outros, não necessários ao plano de M&V, são reportados e documentados no relatório final.

Qualquer alteração planeada pelo operador para os anos de duração do ARCE, que se preveja que possa afectar os consumos da MRE, deve ser referida neste ponto.

Período de reporte:

Mediante o ciclo de funcionamento do equipamento e ou sistema, que já foi considerado no período do consumo de referência será estabelecido, o período de reporte no qual são recolhidos dados para calcular a poupança [6]. A duração poderá ser encurtada em comparação com a do período de referência - mantendo, no mínimo, um ciclo de consumo - uma vez que, apenas é pretendido verificar as condições e a poupança.

Apesar de o IPMVP prever a implementação das MRE's imediatamente após o fim do período do consumo de referência, tal não é normalmente viável no SGCIE, dado o elevado investimento e número de medidas, estando a concretização das mesmas definidas ao longo dos primeiros três anos do ARCE.

Neste sentido, a definição do programa de implementação terá também em consideração a capacidade de os valores do período do consumo de referência se manterem válidos até ao começo do período de reporte. Caso tal não seja praticável, devem as MRE ser executadas o mais brevemente possível ou obtidos novos valores pela instalação de um medidor.

Base para ajuste:

Definir o conjunto de condições ao qual todas as medições de energia serão ajustadas, utilizando modelo de “consumo de energia evitado” ou modelo de “poupança normalizado”.

No caso do SGCIE, o primeiro é o mais aconselhado, uma vez que possibilita a percepção da energia evitada pela execução da MRE e também pela variabilidade das condições nos CIE (ver 2.2). Estando esta informação definida, será dispensável no plano de M&V do SGCIE.

Procedimento para análise:

Especificar os procedimentos de análise de dados, de algoritmos e hipóteses consideradas.

Este ponto está habitualmente relacionado com a modelação matemática e consequente análise das relações das variáveis independentes com o consumo e ou parâmetro-chave, e ainda o estudo das condições dos parâmetros estimados. A poupança será sempre calculada mediante a equação 5.1 [6]:

$$\text{Poupança} = \text{consumo do período de referência ajustado} - \text{consumo do período de reporte} \pm \text{ajustes não periódicos.} \quad (5.1)$$

Caso se verifique, indicar qual a gama das variáveis independentes para o qual os algoritmos são válidos. Um exemplo típico desta situação é o controlo da iluminação em conjugação com a radiação solar, no qual os diferentes somatórios e picos diários de radiação conduzem a modelos distintos [41].

A utilização deste ponto para o SGCIE não necessita de qualquer adaptação.

Preços da energia:

Referir os preços de energia utilizados para quantificar economicamente a poupança.

No SGCIE, para cada fonte de energia, não endógena, os preços a considerar são relativos ao ano de referência - ano civil anterior ao da auditoria. O cálculo do período de retorno do investimento (PRI) de cada MRE tem por base estes valores.

Especificações do contador:

Especificar os pontos e períodos de contagem, para os casos que a medição não seja contínua. Referir quais os contadores utilizados e de entre aqueles que não pertencem à empresa comercializadora de energia, especificar: a periodicidade da contagem, procedimentos da colocação em serviço do contador e processo de calibração [6].

Durante o período de reporte, ter em atenção que poderão haver situações que os contadores estejam mal calibrados ou com avarias. Nestes casos, os dados em falta e ou errados podem ser recriados por interpolação.

Esta será uma mais-valia para o SGCIE dado que não existe qualquer referência relativamente à precisão dos aparelhos nem a necessidade de indicar a forma como foi realizada a medição e o tratamento de dados não incluídos.

Responsabilidades de monitorização:

Após o fim da auditoria e uma vez implementada a MRE, é necessário, durante o período de verificação da poupança, registar e reportar os dados do consumo e ou do parâmetro-chave, das variáveis independentes, factores estáticos e valores estimados, dentro da fronteira de medição. No plano de M&V fica definido que entidade é responsabilizada pela monitorização [6].

Transpondo para o SGCIE: dado que bianualmente o operador tem de entregar os relatórios de execução e progresso (REP) à ADENE, a informação a reportar nos relatórios sugeridos para cada medida (ver ponto seguinte “formato do relatório”) deverá, à partida, ser da responsabilização de técnicos da instalação.

Conforme as situações, estes poderão ficar responsáveis por operações como:

- Manutenção e calibração dos contadores;
- Recolha de dados;
- Efectuar as inspecções periódicas, garantindo as condições que serviram de base para estimativas, na opção A;
- Armazenamento de dados;
- Inserção de dados no sistema de análise;
- Executar o sistema de análise: validar os dados por outros em períodos semelhantes, em períodos adjacentes e verificar as relações nos modelos matemáticos;
- Preparação dos relatórios (ver ponto seguinte “Formato do relatório”);
- Controlo de qualidade (ver ponto seguinte “Garantia de qualidade”).

Para o caso da opção A ser escolhida, a equipa auditora deverá dar as indicações da periodicidade nas inspecções periódicas [6].

Precisão esperada:

A avaliação da incerteza esperada é feita mediante o acordo de custos de M&V e também segundo a gestão dos erros consequentes de:

- Instrumentação;
- Capacidade de modelação matemática às variações dos dados;
- Amostragem: número total de pontos de medição e ou no período temporal definido;
- Capacidade de quantificação dos efeitos interactivos fora da fronteira de medição;
- Estimativa de parâmetro, no caso de escolha da opção A.

Para a determinação da poupança, reportar todos os elementos qualitativos e factores quantificáveis da incerteza das medições e ajustes a realizar [6].

Reportar a gama de precisão não só em percentagem, mas também na unidade de energia do SGCIE - tep (tonelada equivalente de petróleo).

Orçamento:

As informações relativas ao orçamento estarão presentes apenas no plano de M&V para toda a instalação (ver “Orçamento” em 5.2.2).

No SGCIE, para a avaliação das MRE's, este ponto não será considerado.

Formato do relatório:

Após a implementação da MRE, será reportada e documentada informação para o cálculo da poupança. O conteúdo dos mesmos deve ser indicado neste campo do plano de M&V.

O IPMVP define o seguinte conjunto de dados a constar nos relatórios:

- Dados do período de reporte: pontos e especificação do período de medição, dados de consumo e de variáveis independentes;
- Descrição e justificação de quaisquer correcções feitas aos dados observados;
- Valores estimados definidos, no caso de escolha da opção A;
- Todos os pormenores de qualquer ajuste não periódico do consumo de referência efectuado. Os pormenores devem incluir uma explicação da alteração das condições desde o período do consumo de referência, todos os factos e suposições observados e os cálculos que levaram ao ajuste;
- A Poupança calculada em unidades de energia [6].

No SGCIE, até findar o período de reporte de cada MRE, os dados supramencionados são tratados e incluídos em relatórios, constituindo anexos no próximo REP.

De referir que neste ponto, o redactor do plano de M&V poderá ainda incluir um modelo de relatório que irá colocar como anexo do relatório final.

Garantia de qualidade:

Definir procedimentos de forma a garantir a qualidade das informações recolhidas e relatórios efectuados, durante o período de reporte [6]. São destacados os seguintes:

- Acesso dos dados restrito apenas a técnicos com experiência;
- Teste dos dados recolhidos com outros contadores, por exemplo, comparando com as facturas da empresa de comercialização de energia;
- Garantir que a recolha de dados engloba os ciclos de funcionamento desejados, comparando com os dados do período do consumo de referência;
- Arquivar todos os dados;
- Desenvolver um manual de procedimentos.

Os mesmos procedimentos de garantia de qualidade podem ser aplicados ao SGCIE, desde que a responsabilização no seu cumprimento esteja assegurada.

5.2-1.1. - Notas sobre a estrutura do plano e adaptação ao SGCIE

O plano de M&V é uma estrutura flexível que pode assumir diferentes formas das definidas em 5.1.1. O redactor pode elaborá-lo da forma que lhe parecer mais conveniente, tendo, porém, a atenção de incluir obrigatoriamente a informação relativa aos vários pontos caracterizadores do plano de M&V.

No SGCIE será comum serem várias as MRE's identificadas pela equipa auditora, pelo que é sugerida, nesta dissertação, que no início da avaliação das MRE's deva constar um pequeno sumário da informação, em forma de tabela (ver 5.3).

5.2-2. - Plano M&V de toda a instalação

Como mencionado em 5.2, o formato do plano de M&V de toda a instalação sofre algumas alterações ao apresentado anteriormente em 5.2.1, compactando a informação, transmitindo-a de forma objectiva e ainda acrescentado alguns dados relevantes no âmbito do SGCIE:

Poupança:

Estimativa da redução do consumo em tep e em percentagem relativamente ao ano de referência.

Indicadores e Metas:

Identificação dos indicadores Intensidade energética (IE), Intensidade Carbónica e, se aplicável, Consumo específico de energia (CEE), considerando o VAB e produção, do ano de referência. Indicação, ainda, das metas de redução.

Objectivos:

Descrever os objectivos finais da auditoria e do PREn, identificando as MRE's que serão implementadas.

Comparação dos dados dos consumos específicos de energia médios mensais e anuais (no mínimo, relativos ao ano de referência) com os valores medidos durante o período da auditoria [25]. Garantida esta compatibilidade, fica acautelada uma base de estudo confiável e também assegurado que possíveis alterações, executadas no ano da auditoria, na instalação não foram significativas, o que descaracterizaria os valores dos anos anteriores.

Porém, se de facto tivessem ocorrido modificações consideráveis na instalação, como por exemplo, o início ou término de actividades de um sector, a diversificação e ou alteração das gamas de produtos, no IPMVP a única solução seria a simulação dos valores de consumo, uma opção não enquadrável no SGCIE. Porém, ainda que não haja qualquer referência a esta situação na legislação relativa ao regulamento nacional, sugere-se nova auditoria após decorrido um ano desde o período de execução das alterações na instalação. Contudo, todo o

programa de auditoria pode ser realizado salvaguardando o estudo de medidas que se preveja terem um retorno de investimento dentro dos prazos determinados.

No âmbito do plano de M&V, este estudo comparativo ainda que não esteja directamente relacionado com a optimização do consumo, constitui um procedimento essencial que necessita, também, de ser medido e verificado.

De forma a distinguir as situações é designado por “M&V - referência” o procedimento acabado de enunciar, “M&V - indicadores” ao plano de M&V que definirá os indicadores e “M&V - ambos” quando ambas as situações se adequam. No que concerne às MRE’s para atingir as metas, são apresentadas no seguimento deste plano.

Acrescentar neste tópico, a referência a estudos da possibilidade de produção combinada de energia eléctrica e térmica, de valorização dos resíduos energéticos e de substituição dos produtos derivados do petróleo na instalação. Estes devem constituir anexos do relatório final.

Opção IPMVP e fronteira de medição:

A única opção possível será a opção C do IPMVP, com a fronteira de medição definida para toda a instalação auditada.

Período de referência:

Neste campo estarão englobados os tópicos do plano de M&V designados no IPMVP, por:

- “Referência: Período, energia e condições”
- “Procedimento para análise”

As informações essenciais que deverão ser, aqui, reportadas são:

- Produção: Quantidade, unidade de produção e período de medição. No caso de a instalação ser multi-produto, desagregar, sempre que possível por tipo de produto;
- Consumo: Quantidade, fontes de energia e período de medição;
- Consumo específico de energia: modelo matemático e valores médios mensais e anuais;
- Valor de VAB, no ano de referência (“M&V - indicadores”);
- Valor das emissões no ano de referência (“M&V - indicadores”);
- Factores estáticos, que tiveram lugar após o ano de referência e a data da auditoria e também, que já estejam planeados pelo operador da instalação até ao final do ARCE (importante para “M&V - indicadores”). Exemplificam-se alguns casos que poderão ser aplicados quer ao “M&V - referência” e “M&V - indicadores”, mas não a ambos:
 - Pequena linha de produção, igual a uma já existente;
 - Isolamentos térmicos;
 - Mudanças do esquema de turnos;
 - Períodos de paragem de laboração;
 - Somente para o “M&V - indicadores”:
 - a energia resultante de resíduos endógenos e de outros combustíveis renováveis: considerar apenas 50% deste consumo para o consumo de referência;
 - Alteração de turnos, num sector fora da fronteira de medição das MRE’s.

No IPMVP, o uso da opção C impõe que todo o equipamento e condições da instalação devem ser documentados. Esta informação estará já englobada no relatório final, i.e., em capítulos anteriores ao do plano de M&V.

Período de reporte:

Para o “M&V - referência”, o período de reporte deverá ter a duração da auditoria, sendo recolhidos valores de consumo de energia e de produção para posterior comparação com os valores médios mensais ou anuais do consumo específico.

Já relativamente ao “M&V - indicadores”, o período de reporte coincidirá com os momentos de elaboração dos REP’s. O REP final, não terá período de reporte.

Precisão e especificações do contador:

À partida, serão utilizados os contadores da instalação como aparelhos de medição.

O cálculo da precisão estará associada ao modelo matemático definido entre o consumo e a produção. O técnico auditor deve sempre utilizar o maior número de leituras possíveis aumentando as possibilidades de R2 estar acima de 0,75 (valor recomendado no IPMVP) [6].

Cada MRE terá um cálculo de precisão associado e consequente contribuição para o custo de M&V estudado no tópico “Orçamento”.

Orçamento:

Definir os custos de medição iniciais, durante o período do consumo de referência e custos contínuos após a implementação da MRE. Estas despesas podem ser relativas a gastos em instrumentação, em recolha e análise de dados, na elaboração de relatórios até terminado o ARCE [6][41].

O IPMVP define 10%, como limite máximo de custos de M&V médios anuais em relação ao valor médio anual da poupança [6], sendo, para o caso do SGCIE, desagregados em 7% para custos de M&V da auditoria e contínuos e 3% relativos a despesas nos REP’s (ver 4.2.3).

Tanto no caso da auditoria como na elaboração dos REP’s, os cálculos justificativos do equilíbrio referido devem ser entregues ao operador, que conjuntamente com a equipa auditora assinam uma declaração na qual ambos atestam essa verificação. Este documento salvaguarda a privacidade dos valores acordados, tanto para a empresa auditora como para o operador da instalação.

Garantia da qualidade:

O operador deverá:

- Manter um registo actualizado de todos os dados, incluindo os especificados em cada uma da MRE’s, de modo a que possam ser verificados periodicamente os desvios em relação às metas estabelecidas;
- Apresentar os REP’s nos períodos exigidos, como informação sobre a avaliação da implementação das MRE e consequente modificação dos indicadores [25];
- Respeitar as obrigações contratualizadas no ARCE;
- Executar todas as medidas de garantia de qualidade definidas nas várias MRE’s;
- Apresentar em anexos os dados do ano de referência incluindo a modelização matemática do consumo.

A empresa auditora apresentará um termo de responsabilidade em como declara que a auditoria, PEn, o plano de M&V e ou os Relatórios de Execução e Progresso foram levados a cabo conforme as normas, modelos e disposições legais.

5.3- Caso Prático

O caso prático seguinte é relativo a uma indústria de compostos plásticos, consumidora intensiva de energia acima de 1000 tep/ano (cerca de 1400 tep/ano), através de energia eléctrica e gás natural.

A empresa ABC, com origem em 2001 tem cerca de 2300 trabalhadores, operando 237 dias por ano, 5 dias por semana e durante 24h diárias.

A linha de produtos envolve PVC e PEX, utilizados na indústria de energia e automóvel.

Notas:

A informação aqui introduzida constaria da apresentação da empresa, normalmente efectuada no início do relatório final. Aqui tem apenas o objectivo de enquadrar o caso prático.

Os dados referidos não são reais, servindo apenas para a exemplificação pretendida.

Plano M&V: toda a instalação

Poupança Esperada: 109,8 tep (7,9%)

Indicadores e Metas:

- IE: 0,60 kgep/€, meta: 0, 55 kgep/€;
- CEE: 65,9 kgep/ton, meta: 60,7 kgep/ton;
- IC: 2285 kgCO₂e/tep, meta: 2147 kgCO₂e/tep.

Objectivo:

Optimização dos consumos de toda a instalação.

Efectuar a diminuição dos indicadores IE, CEE e IC através do objectivo anterior, alcançável pela implementação de cinco Medidas de Racionalização de Energia (MRE n.º1, MRE n.º 2, MRE n.º 3, MRE n.º 4 e MRE n.º 5).

Após os estudos efectuados e presentes em anexo, não é possível o aproveitamento de formas endógenas de produção de energia.

Verificar a compatibilidade dos dados do consumo específico de energia de, pelo menos, o ano de referência (2009), com os valores medidos durante a execução desta auditoria.

Medidas de Racionalização de Energia (MRE) definidas:

- MRE n.º 1: Plano para detecção e reparação de fugas de ar comprimido;
- MRE n.º 2: Instalação de VEV's nas bombas de vácuo M4, M8 e M9;
- MRE n.º 3: Instalação de um VEV no ventilador de arrefecimento T2;

- MRE n.º 4: Instalação de um VEV no ventilador de arrefecimento T3;
- MRE n.º 5: Iluminação: Substituição de balastros ferromagnéticos por electrónicos.

Opção do IPMVP e fronteira de Medição:

“M&V - ambos”:

- Opção C
- Fronteira de medição: toda a instalação

Período de referência:

“M&V - ambos”:

- Produção: Ano 2009, quantidade: 21.086 toneladas (“ton”).
 - PVC: 12544 ton;
 - PEX: 8543 ton.
- Consumo de energia: Dados de electricidade e de gás natural de 2009, em valores mensais.
 - Energia eléctrica: 1112 tep;
 - Gás Natural: 278 tep.
- Consumo de referência da energia de toda a instalação, mediante o seguinte modelo matemático:

$$\begin{aligned} \text{Consumo (tep)} = & -0,0031 \times \text{ton}_{PVC}^2 + 0,041 \times \text{ton}_{PVC} - 0,000053 \times \text{ton}_{PEX}^3 + 0,34 \\ & \times \text{ton}_{PEX}^2 + 7,2 \times \text{ton}_{PEX} + 34,2 \end{aligned} \quad (5.2)$$

Coeficiente de determinação $R^2 = 0,89$.

- Consumo de referência para o produto PVC:

$$\text{Consumo (tep)} = -0,0021 \times \text{ton}_{PVC}^2 + 0,051 \times \text{ton}_{PVC} + 15,3 \quad (5.3)$$

Coeficiente de determinação $R^2 = 0,93$.

- Consumo de referência para o produto PEX:

$$\text{Consumo (tep)} = -0,000047 \times \text{ton}_{PEX}^3 + 0,29 \times \text{ton}_{PEX}^2 + 7,1 \times \text{ton}_{PEX} + 9,2 \quad (5.4)$$

Coeficiente de determinação $R^2 = 0,96$.

Onde,

ton_{PVC} : volume de produção de PVC, expresso em toneladas.

ton_{PEX} : volume de produção de PEX, expresso em toneladas.

Para determinar as regressões foi utilizado o método dos mínimos quadrados.

- Valores médios mensais do consumo específico: 64,1 kgep/ton

“M&V - indicadores”:

- VAB: 2.325.976€, em 2009
- Emissões de CO₂ equivalentes: 2250 kgCO₂e, em 2009

Factor estático:

“M&V - indicadores”: Novo motor na linha de produção n.º 7 será instalado no 1.º trimestre de 2013. Não existem MRE's cuja fronteira de medição e efeitos interactivos, englobe ou afecte a linha de produção n.º 7.

Para além do referido, não estão planeadas pelo operador alterações durante o período de cumprimento do ARCE, isto é, nos próximos 5 anos.

Nota: A documentação relativa aos equipamentos e condições existentes na instalação estão reportadas no capítulo 2 (De notar, que esta não é uma referência ao capítulo 2 desta dissertação, apenas uma indicação ao um capítulo do relatório final.).

Período de reporte:

“M&V - referência”: 4 meses - período de duração da auditoria.

“M&V - indicadores”: Períodos de avaliação de cada REP, em 2012, 2014 e 2016.

Orçamento:

Ficou comprovado que os custos de M&V médios anuais não atingiram os 10% de poupança prevista média anual. Em anexo, está incluída a declaração na qual tanto a equipa auditora como o operador declaram a sua comprovação.

A empresa auditora fica também responsável pela elaboração dos REP's de 2012 e 2014.

Precisão e especificações do contador:

“M&V - ambos”: A análise por regressão tem um coeficiente de determinação ajustado R^2 de 0,89. Os dados foram obtidos pelos contadores da instalação.

“M&V - indicadores”: Precisão e aparelhos de medição especificados em cada uma das MRE's.

Garantia da qualidade:

O operador fica responsável por manter um registo actualizado de todos os dados especificados em cada uma das MRE's utilizando os formatos definidos.

O operador deve comunicar à empresa auditora, pelo menos, durante a elaboração do REP's quaisquer alterações nos equipamentos, métodos de produção e nos dados de relevo descritos em cada uma das MRE's.

Em anexo são apresentados todos os dados recolhidos e usados incluindo a modelização matemática do consumo.

A empresa auditora ficará responsável pela execução da auditoria e dos REP's conforme as normas, modelos e disposições legais, atestadas no termo de responsabilidade em anexo.

Medidas de racionalização:

Após o estudo energético da instalação, foram detectadas possíveis medidas de racionalização de energia a partir das quais a fábrica de compostos poderá atingir as poupanças necessárias ao cumprimento das metas a contratualizar no Acordo de Racionalização dos Consumos de Energia (ARCE).

Na tabela 5.1 está resumido o âmbito de aplicação das MRE's assim como informações sobre a medição e verificação:

Tabela 5.1 - Tabela resumo das MRE's a aplicar no Plano de M&V para o exemplo da fábrica de compostos

Descrição da MRE	Opção do IPMVP utilizada	Estimativa do valor da poupança	Poupança em relação ao consumo total do ano de referência
Plano para detecção e reparação de fugas de ar comprimido	Opção B: medição isolada	22,9 tep	1,7 %
Instalação de VEV's nas bombas de vácuo M4, M8 e M9	Opção B: medição isolada	45,4 tep	3,3%
Instalação de um VEV no ventilador de arrefecimento T2	Opção A: medição isolada	18,0 tep	1,3 %
Instalação de um VEV no ventilador de arrefecimento T3	Opção A: medição isolada	15,6 tep	1,1 %
Iluminação: Substituição de balastros ferromagnéticos por electrónicos	Opção A: Medição das potências e estimativa de horas de ocupação	7,8 tep	0,6% *(corresponde a 40% da MRE)
Total		109,7 tep	7,9%

MRE n.º 1: Plano para detecção e reparação de fugas de ar comprimido**Objectivo da MRE:**

Optimização de consumos eléctricos dos compressores e secador através da redução das fugas de ar comprimido. O sistema de ar comprimido é usado essencialmente no processo produtivo de moldes dos compostos, tendo sido responsável por cerca de 11% do consumo total no ano de referência.

A optimização será conseguida através da implementação de um plano de detecção e reparação de fugas que necessitará de uma monitorização e verificação permanente.

A introdução bem sucedida do plano tem um valor de poupança estimado de 106600 kWh, representando cerca de 15% do consumo total da central de ar comprimido e 1,7% do consumo total da instalação.

Opção do IPMVP seleccionada e fronteira de medição:

A central de ar comprimido será isolada dos restantes sistemas energéticos da fábrica, utilizando para tal a opção B, Volume I do IPMVP, EVO 10000 - 1:2009.

A medição estará restrita ao circuito de alimentação eléctrica da central, por um contador instalado, pelo operador, para operação permanente, reduzindo os custos de M&V da opção B do IPMVP.

Com a detecção e reparação das fugas, haverá uma redução de ar liberto para o exterior ao longo da rede de distribuição e na sala da central de ar comprimido, porém a possível redução do consumo por diminuição na carga de extracção dos ventiladores é considerada insignificante. Não há portanto qualquer efeito interactivo a registar.

Referência: Período, Energia e condições:

O período do consumo de referência considerado foi de um mês (5 semanas) de forma a atingir a precisão contratualizada de $\pm 7\%$ num intervalo de confiança de 90% - um valor determinado pelo estudo estatístico pela distribuição de t de student, em função do número de leituras e poupança estimada. (Nota: No capítulo 2, tópico 2.6 é explicado este processo)

O número de leituras total do período do consumo de referência foi de 75, um número definido de acordo com o processo de reporte dos dados a implementar no período de reporte: As leituras serão realizadas pelos técnicos na mudança de turno diária. O regime de laboração estabelece 3 turnos diários em 24h num total de 5 dias semanais.

A partir da medição de um período de não laboração, foi possível estimar o valor de consumo energético devido a fugas na rede de ar comprimido.

Dados dos equipamentos que constituem a central de ar comprimido:

- Número de compressores: 2;
- Número de secadores: 1;
- Potência nominal dos compressores: 60 kW cada;
- Potência nominal do secador: 6 kW;
- Consumo anual total em ar comprimido: 710640 kWh/ano, 152,8 tep/ano.

Neste caso, não existem variáveis independentes, que possam explicar com correlações aceitáveis as variações de consumos dos compressores e secadores. Será apenas considerado o diagrama diário de consumo, que se repete constantemente.

Relativamente aos factores estáticos, não foram feitas quaisquer mudanças no valor da pressão definida. Não são esperadas alterações estruturais na instalação que afectem a rede de ar comprimido, nem alterações nos horários dos turnos ou processos que requeiram o uso de ar comprimido.

De referir, por fim, que no momento das medições todos os equipamentos estavam a operar normalmente.

Período de reporte:

O período de reporte será de 2 meses a cada semestre (Janeiro e Fevereiro, Junho e Julho) até ao final do ARCE.

Foi considerada a implementação desta MRE, no 2.º ano do PReN, por sugestão do operador da instalação.

Dado que as condições para as medições do período de referência são bastante estáveis, não se espera que até ao começo da implementação haja qualquer necessidade de ajuste. De notar que, o medidor já foi instalado no momento do período de referência, porém haverá necessidade de criar de antemão rotinas e procedimentos para executar o plano com sucesso.

Procedimento para análise:

A poupança será calculada pela diferença entre o consumo de referência e o consumo do período de reporte considerando possíveis ajustes nos dois períodos, como ilustrado na equação seguinte:

$$\text{Poupança} = \text{consumo de referência} - \text{consumo do período de reporte} \\ \pm \text{ajustes não - periódicos}$$

(5.5)

Preços da energia:

Preço de electricidade ao tarifário do ano de referência: 2009.

Especificações do contador:

Foi utilizado um contador digital que tem uma precisão de $\pm 0,1\%$ [42] Este aparelho está montado e pertence à instalação.

Os dados serão reportados numa folha de registos pelos técnicos no final de cada turno.

Se por algum motivo faltarem dados, a solução poderá passar por interpolações entre os dados do turno anterior e do seguinte.

Responsabilidades de monitorização:

O operador deve designar um conjunto de técnicos por turno que serão responsáveis pelo registo diário do consumo no final do período de laboração. Este procedimento decorrerá durante 2 meses em cada semestre até ao final do ARCE.

Um técnico especializado, ficará responsável pelo armazenamento e análise dos dados e pela elaboração de dois relatórios anuais no fim de cada período de monitorização. Quer isto dizer, no início de Março e no início de Agosto.

Está também o operador responsável pela elaboração e execução do plano de detecção e reparação de fugas de ar comprimido, assim como o reporte, no relatório semestral seguinte, de situações inesperadas, possíveis de adequar como ajustes não-periódicos.

Precisão esperada:

A precisão contratualizada foi de $\pm 7\%$ num intervalo de confiança de 90%, esperando-se assim um desvio de -7574 kWh e + 7574 kWh no valor da poupança.

Formato do relatório:

Durante o período de reporte são recolhidos dados diários sobre o consumo que serão utilizados para a elaboração dos relatórios onde constam os cálculos da poupança em relação ao período do consumo de referência. Possíveis ajustes não-periódicos devem ser quantificados.

Tanto os dados recolhidos como os relatórios elaborados devem constituir anexos do próximo REP.

Em anexo a este relatório estão presentes modelos representativos do formato especificado.

Garantia de qualidade:

Registo dos dados arquivados devidamente.

Tópicos a incluir no manual de procedimentos:

- Esquecimento pontual na leitura da medição: Dado a quantidade de medidas recolhidas e a variabilidade característica, podem ser feitas interpolações entre dados, não comprometendo a precisão.
- Mudanças no sistema de ar comprimido ou nas operações do processo que afectem o consumo: Caso a poupança desça cerca de 10% entre semestres, verificar, com maior detalhe que nas rotinas do plano de detecção e reparação de fugas de ar comprimido, a possibilidade de ter ocorrido qualquer mudança.

Nota ao exemplo: Como referido em 5.2.1.1, o plano de M&V é flexível, como tal de seguida é apresentada uma análise alternativa mais sintética de apresentação das MRE's, porém com as justificações exigidas:

MRE n.º 2: Instalação de VEV's nas bombas de vácuo M4, M8 e M9 e MRE n.º 3: Instalação de um VEV no ventilador de arrefecimento T2

Objectivo da MRE:

MRE n.º 2: Optimizar o consumo dos motores associados às bombas de vácuo M4, M8 e M9 reduzindo os consumos em vazio, pela instalação de variadores electrónicos de velocidade.

MRE n.º 3: Optimizar o consumo do motor do ventilador T2 substituindo a válvula de estrangulamento que reduz o caudal em 20%, por um VEV.

MRE n.º 4: O mesmo que MRE n.º 3 para o ventilador T3.

Tanto as bombas com os ventiladores T2 e T3 fazem parte do sistema de transporte e arrefecimento de matéria-prima para a linha de produção n.º 3.

O consumo associado às bombas mencionadas representam cerca de 7,3% do consumo total do ano de referência, enquanto o do ventilador T2 representa 2,6% e o ventilador T3 aproximadamente 2,2 %.

Relativamente às poupanças são de 3,3%, 1,3% e 1,1% do consumo total para a MRE n.º 2, MRE n.º 3 e MRE n.º 4, respectivamente.

Opção do IPMVP seleccionada, fronteira de medição e dados do período do consumo de referência:

MRE n.º 2: opção B, Volume I do IPMVP, EVO 10000 - 1:2009.

Fronteira de Medição:

- Medição contínua do consumo pelo período de 4 meses.
- Medição em toneladas de PVC transportado para a linha de produção n.º 3, pelo período de 4 meses.

A opção B prende-se pela elevada variabilidade no consumo e utilização das bombas. Contudo, as três são activadas simultaneamente daí a sua medição contínua conjunta.

O período foi definido de acordo com a variabilidade do volume de matéria-prima, englobando os valores de máximos e mínimos. A sua medição é efectuada por contadores já existentes à data da auditoria.

MRE n.º 3 e 4: opção A, Volume I do IPMVP, EVO 10000 - 1:2009.

Fronteira de Medição:

- Medição contínua do consumo pelo período de uma semana.
- Estimativa das horas de funcionamento

A opção A é justificada pela diminuta variabilidade dos consumos dos ventiladores T2 e T3, sendo as horas de funcionamento do aparelho correspondentes ao horário de laboração da indústria, possibilitando a análise por estimativa. São esperadas variações de cerca $\pm 3\%$ do valor estimado e semelhante afectação nas poupanças.

As reduções de trabalho tanto nas bombas como no ventilador não têm qualquer efeito considerável em outros consumos. Não são considerados quaisquer efeitos interactivos.

Referir ainda que não estão planeadas alterações futuras no sistema de transporte e arrefecimento de matéria-prima.

Dados dos equipamentos:

- Potência nominal dos motores-bomba de vácuo: 37 kW (M4), 37 kW (M8), 37 kW (M9)
- Consumos anuais das bombas de vácuo: 469500 kWh/ano
- Potência nominal do motor acoplado aos ventiladores: 37 kW
- Potência absorvida média pelos ventiladores: T2: 32,8 kW; T3: 28,5 kW
- Número de horas de funcionamento: 5100 h.

Poupanças:

- As bombas estão cerca de 45% do tempo vazio, o que permitirá uma poupança de, aproximadamente: 211300 kWh/ano.
- Nos ventiladores, dado que o caudal é reduzido em 20%, a potência é reduzida para cerca de metade (variação da potência, com o cubo da velocidade de rotação [43]):
 - A poupança, no ventilador T2, será de: 83600 kWh/ano
 - A poupança, no ventilador T3, será de: 72700 kWh/ano

Período de reporte:

MRE n.º 2: 2 meses: Medição contínua.

MRE n.º 3 e n.º 4: uma semana: Medições periódicas com base horária.

No primeiro trimestre do ARCE pela importância de redução dos consumos mas também pelo elevado investimento, está prevista a implementação da MRE n.º 2. Relativamente às

MRE n.º 3 e MRE n.º 4, por razões de planeamento dos investimentos pelo operador, estão programadas para o quarto e quinto trimestre do ARCE, respectivamente.

Dados os ciclos de funcionamento dos equipamentos e o comportamento das variáveis associadas, não se espera que a calendarização definida afecte os dados do período do consumo de referência.

Procedimento de análise:

Fórmula do cálculo da poupança para MRE n.º 2, MRE n.º 3 e MRE n.º 4:

$$\text{Poupança} = \text{consumo do período de referência ajustado} - \text{consumo do período de reporte} \pm \text{ajustes não periódicos} \quad (5.1)$$

No caso da MRE n.º 2, o consumo de referência ajustado é obtido pela seguinte expressão:

$$\text{Consumo (tep)} = 25,3 \times \text{ton}_{\text{PVC}} + 1,7, R^2 = 0,88 \quad (5.6)$$

Onde,

ton_{PVC} : volume de produção de PVC, expresso em toneladas.

Preços da energia:

Preço de electricidade ao tarifário do ano de referência: 2009.

Precisão esperada e especificações do contador:

MRE n.º 2: A precisão contratualizada é de $\pm 5\%$ num intervalo de confiança de 95%, sendo esperado um desvio de -10564 kWh e +10564 kWh.

Foi utilizado um analisador digital no quadro eléctrico da saída para circuito de alimentação dos motores associados às três bombas. O aparelho tem uma precisão de $\pm 3\%$, não sendo necessária calibração.

Para a medição do volume de produção, a fábrica possui uma contagem interna.

MRE n.º 3 e MRE n.º 4: A precisão contratualizada é de $\pm 8\%$ num intervalo de confiança de 90%.

MRE n.º 3: É esperado um desvio de -6691 kWh e +6691 kWh.

MRE n.º 4: É esperado um desvio de -5814 kWh e +5814 kWh.

Para ambos os casos, foi utilizado um wattímetro, com precisão de $\pm 5\%$, nos terminais do motor do ventilador de arrefecimento, com periodicidade horária de leitura.

Para as três MRE's em estudo, a interpolação de dados pode ser feita se porventura houver falta de dados e ou dados incorrectos.

Formato do relatório:

Aconselha-se a realização de breves relatórios anuais para o acompanhamento das poupanças e possível detecção de variações. Deverá constar informação relativa a dados de consumo, volume de produção da linha de produção n.º 3 e cálculos que validem o valor da estimativa das horas de funcionamento dos ventiladores T2 e T3.

Estes relatórios devem constituir anexos do próximo REP.

Responsabilidades e garantia de qualidade:

O operador está responsável pela monitorização de possíveis factores estáticos, como alterações dos regimes de operação, expansão das instalações, possíveis períodos de paragem, entre outros que afectem a linha de produção n.º 3. Caso se verifiquem, os valores do consumo de referência terão de ser ajustados para o cálculo dos indicadores no próximo REP.

Se porventura, forem detectadas, nos relatórios anuais, diminuições da poupança até 10%, é sugerida uma verificação rigorosa dos equipamentos e inquéritos para detecção de factores estáticos.

A instalação dos VEV's deve ser acompanhada por um técnico experiente da indústria.

MRE n.º 5: Iluminação: Substituição de balastros ferromagnéticos por electrónicos**Objectivo da MRE:**

MRE n.º 5: Reduzir o consumo e melhorar os níveis de iluminação através da substituição de balastros ferromagnéticos por balastros electrónicos nas lâmpadas fluorescentes tubulares.

Estes aparelhos estão presentes em todos os espaços da instalação - em alguns deles juntamente com outros tipos de lâmpadas -, tendo uma fracção de 2,1% do consumo total anual, enquanto os consumos totais de iluminação representam cerca de 2,5%.

O potencial de poupança é 1,4%, sendo que se for apenas executada a MRE em 40% das lâmpadas fluorescentes tubulares, o valor é de 0,6%. (ver no ponto "Período de reporte" a justificação para a execução não integral da MRE)

Opção do IPMVP seleccionada, fronteira de medição e dados do período do consumo de referência:

MRE n.º 5: opção A, Volume I do IPMVP, EVO 10000 - 1:2009.

Fronteira de Medição:

- Medição instantânea de potência, em todas as saídas de iluminação do quadro eléctrico.
- Estimativa das horas de ocupação.
- Fluxos luminosos, medição praticamente instantânea.

A opção A é justificada pelo consumo fixo em iluminação condicionado pela quantidade de horas de ocupação dos espaços iluminados, obtido através do inquérito realizado.

A redução em cerca de 15% do consumo das lâmpadas e consequente menor radiação não são consideradas significativas nos espaços climatizados, uma vez que foi acordado que as excedentes necessidades de aquecimento no inverno eram compensadas pelas reduções de consumo no verão. Não são considerados quaisquer efeitos interactivos.

Factor estático:

- Uma vez medida a potência em todas as saídas de iluminação, foram contabilizadas as lâmpadas que não sejam fluorescentes tubulares. Este valor será retirado ao valor da potência de referência obtida;
- No momento da auditoria, 5 lâmpadas fluorescentes tubulares estavam avariadas. A sua potência e horas de funcionamento correspondente serão adicionadas ao consumo de referência;
- A introdução da MRE irá regularizar os fluxos luminosos mediante a norma europeia em iluminação mediante local de trabalho;

Não é ainda considerado o aumento do período de vida útil das lâmpadas em cerca de mais 50% decorrente da introdução da MRE.

Possíveis alterações na potência das lâmpadas antes e após o período de reporte, motivarão um ajuste ao consumo de referência. O mesmo acontece para avarias de circuito não afectos à MRE, após o período de reporte.

Dados dos equipamentos:

- Potência e número dos aparelhos de iluminação:
 - Lâmpadas fluorescentes tubulares: 58W (86) e 36W (24)
- Número de horas médio: 5000 h/ano (inquérito)

Poupanças: 90780 kWh/ano

Período de reporte:

Após instalação da MRE, medição instantânea na saída de todas as saídas do circuito de iluminação.

Uma vez que o período de retorno (PRI) desta medida é de 6 anos a medida não poderá constar do programa de implementação.

Não obstante, é sugerida a substituição de cerca de 40% dos balastros nas áreas de maior actividade e utilização: linhas de produção n.ºs 1, 2 e 3 e espaços administrativos e refeitório. O PRI será neste caso de 3 anos e 3 meses, sendo a medida introduzida no 2.º trimestre do 2.º ano.

Ajustes a considerar mediante a aplicação parcial ou total da MRE:

Implementação parcial:

- Ajuste no consumo do período de retorno retirando à medição de todo o circuito de iluminação, as lâmpadas fluorescentes tubulares que não foram substituídas e ainda as restantes que não estavam contempladas na MRE;

- Ajuste no consumo do período do consumo de referência retirando o total de potência das lâmpadas fluorescentes tubulares não substituídas.

Implementação de toda a MRE: Ajuste no consumo do período de retorno retirando à medição de todo o circuito de iluminação o somatório da potência das lâmpadas não incluídas na medida.

Procedimento de análise:

$$\text{Poupança} = \text{consumo de referência ajustado} - \text{consumo do período de reporte} \pm \text{ajustes não - periódicos} \quad (5.1)$$

Preços da energia:

Preço de electricidade ao tarifário do ano de referência: 2009.

Precisão esperada e especificações do contador:

A precisão contratualizada é de $\pm 10\%$ num intervalo de confiança de 90%, sendo esperado um desvio de -3631 kWh e + 3631 kWh.

Para a situação da implementação completa da MRE, os desvios serão de: -9077 kWh e +9077 kWh.

Foi utilizado um wattímetro com precisão de $\pm 2\%$.

Responsabilidades, garantia de qualidade e formato do relatório:

Até o ARCE findar, alterações de potência e ou avarias em qualquer dos circuitos de iluminação (incluídos ou não na MRE), identificadas nas inspecções mensais por um técnico designado pelo operador, são reportadas e compiladas em breves relatórios anuais. É requerida esta extensa monitorização para controlo dos indicadores de eficiência em cada REP e no REP final.

Anualmente devem ser realizados inquéritos, por técnicos a designar pelo operador, para verificar que a estimativa de horas de ocupação se mantém dentro dos valores estabelecidos.

Estes relatórios devem constituir anexos dos REP's.

Capítulo 6

Conclusões

O crescente valor estratégico da energia impele os países a criarem mecanismos de promoção de fontes energéticas renováveis e de valorização e utilização mais inteligente da energia.

Nessa linha, do Plano Nacional de Acção para a Eficiência Energética surgiu o Sistema de Gestão dos Consumos Intensivos de energia (SGCIE) como o principal instrumento nacional de combate ao desperdício energético e de consequente promoção da sua utilização racional nas empresas com consumos intensivos de energia (CIE).

Dos três indicadores do SGCIE, apenas o Consumo específico de energia (CEE) avalia efectivamente a eficiência energética nas instalações com CIE, quer isto dizer, que o CEE é o único que informa o operador de quais as repercussões no consumo do melhor ou pior desempenho do processo produtivo. Toda a energia gasta tem como finalidade a produção independentemente de ser ou não directamente utilizada para a criação de produto.

Porém, já relativamente ao indicador Intensidade energética (IE), à parte de situações como a difícil conjugação de várias unidades de produção, contribuições significativas na frota de transportes ou de serviços, entre outras, o IE confunde conceitos de eficiência energética e eficiência económica. É inclusive um indicador que pode descaracterizar a optimização ou ineficiência dos consumos mediante as variações acentuadas do valor acrescentado bruto.

Por último, o indicador de intensidade carbónica (IC) incorre em semelhante situação à do IE, porém relativamente à vertente ambiental, sendo que não é abrangido pela obrigatoriedade de redução num valor definido. Ainda há a acrescentar que, dada a sua formulação, o IC poderá caracterizar reduções de consumo como ineficiência ambiental.

A introdução de processos de Medição e Verificação (M&V) são particularmente interessantes para o indicador CEE, o qual sempre que possível deve ser desagregado nas diferentes unidades de produção ou ainda, havendo possibilidade, nos vários produtos. Partindo de um conjunto alargado de dados, em número superior ao do ano de referência da auditoria do SGCIE, a desagregação permite uma maior capacidade de ajuste da produção ao consumo e assim a construção de modelos matemáticos explicadores.

São esses modelos que identificam a característica de produção de uma instalação, que em contexto de Medição e Verificação (M&V) definem o consumo do período de referência em relação à produção.

De acordo com os procedimentos do Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético (IPMVP), todas as variáveis com fortes correlações com os consumos energéticos devem ser medidas e verificadas e também incluídos nos modelos matemáticos tornando-os multidimensionais. A característica do indicador agregado CEE do SGCIE pode ser definida por um destes modelos sendo as variáveis independentes os diferentes tipos de produtos ou unidades de produção.

A definição da curva característica da produção, mediante a extensão no tempo dos dados, estuda também a evolução da eficiência na instalação permitindo ao operador avaliar o desempenho energético de forma alternativa ao indicador CEE.

Cada empresa com CIE tem um potencial de optimização de consumos característico e diferenciado para com outras instalações. Por conseguinte, pelo desvio absoluto do desempenho energético (DADE) é conseguido um valor que especifica o potencial de eficiência energética sem investimento, isto é, a capacidade da empresa melhorar os consumos apenas a partir de uma optimização de rotinas e procedimentos, sem efectuar qualquer alteração e ou modificação de equipamentos ou sistemas.

Porém, para além do estudo dos indicadores que necessitam de ser medidos e verificados, no SGCIE as reduções de consumos e respectivos indicadores estão relacionadas com a implementação das MRE's que devem ser estudadas, isto é, medidas e verificadas durante o ARCE.

Da análise das normas e procedimentos do SGCIE para as auditorias e para a constituição dos planos de racionalização do Consumo de Energia (PREn), há, de facto, a enumeração de um conjunto de elementos a serem recolhidos, contudo carece a definição de processos de M&V que orientem o reporte de informação de forma credível, transparente e completa, durante períodos bem definidos e representativos dos ciclos de consumos. Com base nestes dados, podem ser realizadas regressões matemáticas, à semelhança do exposto acima para os indicadores, caracterizando o(s) parâmetro(s) determinante(s) para o desempenho energético dentro da fronteira de medição e possibilitando ajustes no período de verificação da poupança.

Uma outra lacuna do SGCIE é relativa à ausência de orientações no cálculo das incertezas. O IPMVP sugere que a demonstração de todos os cálculos que determinem a incerteza e grau de confiança da informação reportada devem ser coadunados com os custos de M&V associados e a poupança esperada. Para o regulamento é sugerido a divisão do limite de 10%, para 7% e 3% da relação entre custos M&V e poupanças, para o período de trabalho de campo, antes e até ao término do ARCE; e para as actividades conducentes à elaboração do Relatório de execução e progresso (REP), respectivamente.

Desde o momento da auditoria até ao ano final onde são contabilizados os indicadores, são vários os intervenientes no mesmo projecto de eficiência. Diferentes técnicos e entidades credenciadas têm diferentes metodologias de medição, diferentes aparelhos medidores e formas diferenciadas de reportar a informação. Falta ao SGCIE procedimentos e uma estrutura de comunicação uniformizados.

Esse é um dos pontos caracterizadores dos planos de M&V evidenciando consistência entre projectos, entre técnicos e entre diferentes períodos de tempo no mesmo projecto. Este último caso é bastante comum no SGCIE em virtude dos vários intervenientes mencionados e

também dos diversos momentos de avaliação, quer nos REP como entre o período do consumo de referência e o de verificação da poupança.

A utilização dos Planos de M&V enquadrados no regulamento nacional diferencia-se da estrutura típica do IPMVP, não deixando, porém, de respeitar o conteúdo necessário. Ao contrário do habitual no protocolo, não é estabelecido um plano para cada MRE medida isoladamente ou um plano único para toda a instalação.

Fica assim definida a estrutura do documento para o SGCIE como dois tipos de planos de M&V diferentes conjugados num só. O documento resultante é um plano de M&V de toda a empresa de CIE (utilizando a opção C), tendo numa parte inicial a exposição do processo de M&V para os indicadores, poupanças previstas e metas, prosseguindo para o plano de avaliação das várias MRE's que fazem parte do programa de implementação.

O plano de M&V é desenhado também para englobar todas as informações do PREn, fazendo, para isso, constar os estudos de produção combinada e valorização dos resíduos endógenos. Por conseguinte, o relatório final a entregar à ADENE é composto pelo relatório da auditoria com os detalhes e elementos recolhidos e do plano de M&V.

Embora se conclua que é possível a aplicação do IPMVP ao SGCIE, havendo benefícios evidentes desta ligação, o SGCIE apresenta algumas limitações que seriam evitáveis caso no momento da sua criação os processos de M&V do IPMVP tivessem sido considerados, assim como metodologias como o Desempenho Energético (DE) e o Desvio Absoluto do Desempenho Energético (DADE). Se assim fosse, o indicador de eficiência energética para as instalações de CIE seria o DE e as metas mínimas estabelecidas através do DADE do sector de actividade empresarial, ao invés de metas fixas como actualmente regulamentado.

Referências

- [1] Agência para a Energia. Website: <http://www.adene.pt/> -> SGCIE - Acedido em Junho de 2010.
- [2] Presidência do Conselho de Ministros, Resolução do Conselho de Ministros n.º 29/2010, in Diário da República n.º 73, 1.ª série. 2010. p. 1289-1296.
- [3] International Energy Agency. Website: <http://www.iea.org/> ->By topic-> Energy efficiency - Acedido em Junho de 2010.
- [4] European commission. Website: <http://ec.europa.eu> - > Europe 2020 - Acedido em Junho de 2010.
- [5] G. Kats, S. Kumar, A. Rosenfeld, *The Role for an International Measurement & Verification Standard in Reducing Pollution*. Vol. 1., 1999.
- [6] Efficiency Valuation Organization, *International Performance Measurement and Verification Protocol*. Vol. 1. 2009:.. 134.
- [7] Efficiency Valuation Organization. Website: <http://www.evo-world.org> -> Quem somos -> história - Acedido em Maio de 2010.
- [8] W. Turner, *Energy management handbook*, 2004. p. 629.ISBN: 978-1420088700
- [9] Instituto Nacional de Eficiência Energética, *Introdução ao uso da medição e verificação de economias de energia no Brasil*, 1997.
- [10] B. Capehart, *Encyclopedia of energy engineering and technology*. Vol. 3. 2007. ISBN:978-0849336539.
- [11] U.S. Department of Energy, *M&V Guidelines: Measurement and verification for Federal Energy Projects*. 2008.
- [12] U.S. Department of Energy, *M&V Guidelines: Measurement and verification for Federal Energy Projects*. 2000.
- [13] Club Des Services D'Efficacité Énergétique, *Guide de la Mesure et de la Vérification Pour les Services de le Efficacité Énergétique*. 2009.
- [14] D. Claridge, J. Haberl, J. Bryant, B. Poyner, J. McBridge, *Use of energy Management and Control Systems for Performance Monitoring of Retrofit Projects*. 1994.
- [15] E. Vine, *The monitoring, evaluation, reporting, verification, and certification of energy-efficiency projects*. Mitigation and adaptation strategies for global change, 2000. 5(2): p. 189. ISSN: 1573-1596
- [16] Ministério da Indústria, Energia e Exportação, Decreto-Lei n.º 58/1982, in Diário da República n.º 47, 1.ª Série. 1982.
- [17] Ministério da Indústria, Energia e Exportação, Portaria n.º 359/1982, in Diário da República n.º 81, 1.ª Série. 1982.

- [18] Associação PME Portugal. Website: <http://www.pmeportugal.com.pt/> -> Geral-> Temáticas -> Gestão da energia na indústria - Acedido em Maio de 2010
- [19] Ministério da Economia e Inovação, Decreto-Lei n.º 71/2008, in Diário da República n.º 74, 1.ª Série. 2008. p. 2222-2226
- [20] Presidência do Conselho de Ministros, Resolução do Conselho de Ministros n.º 104/2006, in Diário da República n.º 162, 1.ª série. 2006. p. 6042-6056.
- [21] Direcção Geral de Energia e Geologia. Website: <http://www.dgge.pt/> - Acedido em Maio de 2010
- [22] Directiva do Parlamento europeu, 2006/32/CE in Jornal Oficial da União Europeia. 2006.p. L114/64 - L114/85
- [23] Presidência do Conselho de Ministros, Resolução do Conselho de Ministros n.º 80/2008, in Diário da República n.º 97, 1.ª série. 2006. p. 2824-2865.
- [24] Ministério da Economia e Inovação, Decreto-Lei n.º 319/2009, in Diário da República n.º 213, 1.ª Série. 2009. p. 8320-8329
- [25] Direcção-Geral de Energia e Geologia, Despacho n.º 17449/2008, in Diário da República n.º 123, 2.ª Série. 2008. p. 28093-28094
- [26] Ministério da Economia e Inovação, Portaria n.º 519/2008, in Diário da República n.º 121, 1.ª Série. 2008. p. 3818-3820.
- [27] Demand Side Management. Website: <http://www.bee-dsm.in> ->Tools -> Monitoring & Verification Methodologies - Acedido em Junho de 2010.
- [28] Clinton Foundation, *Measurement and verification and the IPMVP*, 2009.
- [29] Federal Energy Management Program (FEMP), U.S.Department of energy , *Example Measurement and verification Plan for super ESPC Project and the IPMVP* , 2007.
- [30] The Energy Efficiency Verification Specialists. Website: <http://www.eevis.co.uk> -> Resources -> Measuring Savings - Acedido em Junho de 2010.
- [31] A. Garcia, *Impacto da lei de eficiência energética para motores eléctricos no potencial de conservação de energia na indústria*, 2003.
- [32] Presidência do Conselho de Ministros, Resolução do Conselho de Ministros n.º 169/2005, in Diário da República n.º 204, 1.ª série. 2005. p. 6168-6176.
- [33] Universidade de Aveiro, *Plano Nacional de Acção para a eficiência energética resultados 2009, 2010*.
- [34] Portal da Energia. Website : <http://www.portal-energia.com> -> pesquisa -> “meta de Quioto em Portugal para 2012” - Acedido em Abril 2020.
- [35] Cumprir Quioto, <http://www.cumprirquioto.pt/> - Acedido Junho 2010.
- [36] Direcção Geral de Energia e Geologia, despacho n.º 17313/2008, in Diário da República n.º 122, 2.ª série. 2008. p. 27912-27913.
- [37] Banco de Portugal, *Boletim Estatístico Abril 2009 - Estatísticas das Empresas Não Financeiras da Central de Balanços*, 2009.
- [38] Instituto Nacional de Estatística, *Índice de Preços no Consumidor Dezembro 2006,2007*.
- [39] Ministério da Indústria e Energia, portaria n.º 228/90, in Diário da República n.º 72, 1.ª série.1990. p. 1491-1493.
- [40] Efficiency Valuation Organization. Website:<http://www.evo-world.org> -> Acontecimentos -> “4th EVO European Training and CMVP Exam” - Acedido Junho 2010.
- [41] G. Silva, *Sistemas de apoio à Medição e Verificação do Desempenho Energético*, 2009.

- [42] Gopal Electronics. Website: <http://www.gopalepstein.com> -> Catálogo
- [43] H.Jorge, *Utilização eficiente de energia em motores*, 2003.