

Daniel António Pedroso Rodrigues

Elevadores Eficientes em Edifícios

Certificação Energética de Elevadores em Portugal

Dissertação de Mestrado

Setembro de 2014



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



UNIVERSIDADE DE COIMBRA
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELETROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores
- Especialização em Energia -

Elevadores Eficientes em Edifícios

Certificação Energética de Elevadores em Portugal

Daniel António Pedroso Rodrigues

Presidente do Júri: Prof. Dr. Mário João Simões Ferreira dos Santos

Vogais: Prof. Dr. Aníbal Traça Carvalho de Almeida (Orientador)

Prof. Dr. Pedro Manuel Soares Moura

Co-Orientador: Eng. João Fong

Coimbra, Setembro, 2014

AGRADECIMENTOS

Quero em primeiro lugar demonstrar o meu forte agradecimento aos meus Pais, e a toda a minha família pelo incondicional apoio e força que me têm dado durante todas as etapas da minha vida acreditando sempre em mim, o que me leva a querer sempre mais e melhor.

Quero agradecer ao Prof. Dr. Aníbal Traça Carvalho de Almeida e ao Eng. João Fong, pelo conhecimento transmitido e orientação prestada durante o desenvolvimento da presente tese.

Ao meu colega e amigo Luís Bernardo, a ele agradeço a paciência, colaboração e a sua crítica que tornaram este trabalho certamente mais rico.

A todos os meus amigos, que de uma forma ou de outra se encontram sempre presentes nos bons e maus momentos, o meu obrigado pela vossa amizade.

RESUMO

Atualmente, existem cerca de 140,000 elevadores em Portugal. Tendo em conta as tendências demográficas, bem tal como uma necessidade crescente por conforto, é esperado que o número de elevadores aumente em Portugal, tal como na Europa, bem como o consumo energético a eles associado.

Esta dissertação descreve o trabalho realizado com o objetivo de avaliar e a otimizar os procedimentos experimentais e os métodos de cálculo presentes no “Guia de Etiquetagem Energética de Elevadores” com vista à integração dos elevadores no Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos (SEEP). O SEEP é um sistema de marcação ou etiquetagem voluntário que permite ao utilizador final comparar o desempenho energético de produtos pela classificação do seu desempenho energético e ter acesso a produtos eficientes. Desta forma será possível obter uma Etiqueta Energética para cada elevador, classificando os mesmos entre uma classe “A” e “G”, sendo “A” a mais eficiente e “G” a menos eficiente.

Para isso foram realizados ensaios em elevadores em uso, variando no tipo de tecnologia, na tipologia de edifício e na categoria em uso e analisados os resultados utilizando a metodologia descrita no documento.

Realizou-se ainda um estudo sobre o impacto que as Etiquetas Energéticas teriam em termos de poupança energética no caso em que todos os elevadores fossem obrigados a obedecer a requisitos mínimos de eficiência, sendo a classe de eficiência energética mínima a classe “C”.

Palavras-chave: Elevadores, Etiqueta Energética, Eficiência Energética, Poupança Energética

ABSTRACT

Nowadays, there are approximately 140,000 elevators in Portugal. Given demographic trends, as well as a growing need for comfort, it is expected that the number of elevators in Portugal, and in Europe, increases as well as the energy consumption associated with them.

This dissertation describes the work carried out in order to evaluate and optimize the experimental procedures and calculation methods present in the "Guia de Etiquetagem Energética de Elevadores" for the integration of the elevators in the Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos (SEEP). SEEP is a system of voluntary labeling or marking that allows the end user to compare the energy performance of products based on its energy rating and have access to efficient products. This way you can get an Energy Label for each elevator, ranking them among a class "A" to "G", "A" being the most efficient and 'G' the least efficient.

For this audits were performed in elevators in use, varying in technology, the type of building and the use category and the results analyzed using the methodology described in the document.

A study on the impact the Energy Label would have in terms of energy savings in the case that all lifts were required to comply with minimum efficiency requirements, and the energy efficiency class Minimum Class "C" was also carried out.

Keywords: Elevators, Energy Label, Energy Efficiency, Energy Savings

ÍNDICE

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do problema	1
1.2	Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos (SEEP)	1
1.3	Guia de Etiquetagem Energética de Elevadores	2
1.4	Objetivos	3
2	Tecnologias típicas de Elevadores	5
2.1	Nota histórica	5
2.2	Elevadores de tração	6
2.2.1	Elevadores com redutor	8
2.2.2	Elevadores sem redutor	9
2.3	Elevadores sem casa das máquinas (MRL)	10
2.4	Elevadores Hidráulicos	11
2.5	Tecnologias Eficientes em Elevadores.....	13
2.5.1	Motores de Indução de eficiência Premium	14
2.5.2	Controladores Avançados e Regeneração.....	15
2.5.3	Motores de Ímanes Permanentes	17
2.5.4	Perdas em Standby.....	18
3	Mercado de elevadores.....	21
3.1	Introdução	21
3.2	Mercado de Elevadores em Portugal	21
3.3	Setor da Construção em Portugal	22
3.4	A Energia em Portugal	23
3.5	Conclusões.....	26
4	Etiquetagem de elevadores.....	27
4.1	Introdução	27
4.2	Para que servem as Etiquetas Energéticas?	28
4.3	Metodologia para Etiquetagem	29
4.3.1	Parte A – Metodologia Experimental para Certificação Energética.....	29

4.3.2	Parte B – Etiqueta de Classificação de Desempenho Energético	31
5	Estudo de Caso e Resultados Obtidos	43
5.1	Introdução	43
5.2	Auditoria a um elevador e análise dos dados	44
5.3	Conclusões das auditorias	47
6	Impacto da Aplicação das Etiquetas nos Elevadores	53
7	Conclusão	59
	Referências Bibliográficas	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 - Representação simplificada de uma instalação típica de elevador de tração convencional [1]	7
Figura 2-2 - Configuração típica de um elevador com redutor [7].....	8
Figura 2-3 - Representação típica de um elevador sem redutor [7].....	9
Figura 2-4 - Representação típica de um elevador sem casa de máquina [7].....	11
Figura 2-5 - Esquema simplificado de uma instalação típica de um elevador hidráulico convencional [1]	13
Figura 2-6 - Opções para aumentar a eficiência dos motores de indução [1].....	15
Figura 2-7 - Configuração geral de um controlador VVVF [1]	15
Figura 2-8 - Operação regenerativa de um elevador equipado com um inversor regenerativo [1]	17
Figura 2-9 - Comparação da eficiência dos motores de indução alimentados por inversores e de ímanes permanentes [1]	18
Figura 3-1 - Distribuição dos elevadores por tecnologia usada (ANIEER, 2007)	21
Figura 3-2 - Distribuição dos elevadores por tipo de edifício (ANIEER, 2007)	22
Figura 3-3 - Distribuição do setor da construção [9].....	23
Figura 3-4 – Energia primária e final no ano de 2013 [10]	24
Figura 3-5 – Evolução dos preços da eletricidade entre 2001 e 2013 [11]	25
Figura 4-1 - Exemplo de um certificado energético de um elevador de acordo com a VDI 4707 [12]	27
Figura 4-2 - Pontos de medição para elevadores.....	30
Figura 5-1 - Potência ativa ao longo de uma descida e subida sem carga – ciclo de referência	45
Figura 5-2 - Estimativa da energia consumida anualmente por cada elevador	48
Figura 5-3 - Classificação energética de manobra de cada elevador.....	49
Figura 5-4 - Classificação energética inativa/standby de cada elevador	50
Figura 5-5 - Classificação de desempenho energético (manobra mais standby) de cada elevador	51
Figura 6-1 - Consumo anual dos elevadores em Portugal, em modo de funcionamento	55
Figura 6-2 - Consumo anual dos elevadores em Portugal caso pertencem todos à classe “C”, exceto os sem redutor.....	56
Figura 6-3 - Poupanças no consumo standby de acordo com diferentes cenários nos setores residencial e de serviço.....	57
Figura 6-4 - Estimativa das poupanças no consumo de eletricidade.....	58

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4-1 - Categorias de uso com os números de viagens por dias	32
Tabela 4-2 - Rácio entre a distância média de viagem e a distância máxima de viagem	33
Tabela 4-3 - Percentagem da carga nominal (Q).....	36
Tabela 4-4 - Percentagem de tempo em modo inativo/ <i>standby</i>	38
Tabela 4-5 - Nível de desempenho energético do elevador.....	39
Tabela 4-6 - Classificação energética em manobra.....	40
Tabela 4-7 - Classificação energética em modo inativo/ <i>standby</i>	40
Tabela 5-1 - Informações gerais do elevador e equipamento de medida	44
Tabela 6-1 - Número total de elevadores em Portugal, divididos pelas suas características.....	54
Tabela 6-2 - Poupanças no consumo de energia, em modo de funcionamento.....	56

LISTA DE SIGLAS

AC – *Alternate Current* (Corrente Alternada)

ANIEER – Associação Nacional dos Industriais de Elevadores e Escadas Rolantes

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

DC – *Direct Current* (Corrente Contínua)

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

ISR – Instituto de Sistemas e Robótica

MRL – *Machine Room Less* (Sem Casa das Máquinas)

PIB – Produto Interno Bruto

PME – Pequenas Médias Empresas

PMSM – *Permanent Synchronous Machine* (Motor Síncrono de Imanes Permanentes)

PWM – *Pulse With Modulation* (Modulação por Largura de Pulso)

SEEP – Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos

SNF – Sociedades Não Financeiras

VSD – *Variable Speed Drives* (Variador de Velocidade)

VVVF – *Variable Voltage, Variable Frequency* (Tensão Variável, Frequência Variável)

SÍMBOLOS

A	intervalos medidos da potência instantânea
a	aceleração média (m/s^2);
d_a	número de dias de funcionamento do elevador por ano;
E_a	energia total consumida por ano (Wh);
E_{cc}	energia de manobra consumida durante um ciclo curto (Wh);
E_{ap}	energia consumida durante arranque/paragem do elevador (Wh);
E_d	energia total consumida por dia (Wh);
E_{cr}	energia de manobra consumida durante um ciclo de referência (Wh);
E_{cm}	energia de manobra consumida durante um ciclo médio (Wh);
E_{md}	energia de manobra consumida por dia (Wh);
E_{mm}	energia média de manobra por metro de viagem (Wh/m);
E_{ist}	energia consumida por dia em modo inativo/ <i>standby</i> (Wh);
E_{spc}	energia específica de manobra para o ciclo curto ($\text{mWh/kg}\cdot\text{m}$);
E_{spr}	energia específica de manobra para o ciclo de referência ($\text{mWh/kg}\cdot\text{m}$);
j	taxa de variação da aceleração (m/s^3) – “ <i>Jerk</i> ”;
k_L	fator de carga;
n_d	número de arranques/viagens por dia;
p	rácio entre a distância média de viagem e a distância máxima de viagem (%);
P_i	potência utilizada em modo inativo (W);
P_{st5}	potência utilizada em modo <i>standby</i> após 5 minutos (W);
P_{st30}	potência utilizada em modo <i>standby</i> após 30 minutos (W);
Q	carga nominal (kg);
s_{cc}	distância de viagem de um ciclo curto (m);
s_m	distância média de viagem da instalação pretendida (m);
s_{cr}	distância de viagem de ida ou de volta de um ciclo de referência (m);
R_i	percentagem do tempo em modo inativo P_i (%);
R_{st5}	percentagem de tempo de P_{st5} (%);

- R_{st30} percentagem de tempo de P_{st30} (%);
- t_{mv} tempo para percorrer a distância média de viagem, incluindo abertura e fecho de portas (s);
- t_{md} tempo de manobra por dia (h);
- t_p tempo de abertura, e fecho de portas do elevador, incluindo o tempo de portas abertas (s).
- t_{ist} tempo por dia em modo inativo/*standby* (h);
- v_n velocidade nominal (m/s).

TERMOS E DEFINIÇÕES

Cabina: Órgão do elevador destinado a receber as pessoas e/ou a carga a transportar.

Caixa: Volume no qual se desloca a cabina e o contrapeso ou a massa de equilíbrio. Este volume é habitualmente limitado pelo fundo do poço, as paredes e o teto da caixa.

Carga nominal: Carga para o qual o aparelho foi fabricado.

Casa das máquinas: Local onde se encontra(m) a(s) máquina(s) e/ou sua(s) aparelhagem(ns).

Ciclo curto: Ciclo para o qual o elevador realiza uma viagem de ida e volta, incluindo abertura e fecho de portas, percorrendo uma distância entre um quarto a metade da distância total da caixa, sendo este capaz de atingir a velocidade nominal, com estabilidade.

Ciclo de referência: Ciclo durante o qual o elevador sem carga realiza manobra do terminal inferior até ao terminal superior, e de seguida volta ao terminal inferior, incluindo dois ciclos completos de porta (abertura e fecho).

Ciclo médio: Ciclo de apenas uma viagem de ida e volta do elevador, percorrendo a distância média de viagem.

Condição inativo: A condição inativo aplica-se a um elevador parado, depois de realizar uma viagem e antes do modo *standby* ser aplicado.

Condição “Standby”: A condição “*standby*” aplica-se a um elevador estacionário num terminal, normalmente sujeito a um nível baixo de potência consumida.

Contrapeso: Massa que possibilita aderência dos cabos nas polias e reduz o binário motriz.

Corrente auxiliar: Corrente fornecida ao equipamento auxiliar, tais como lâmpadas, ventoinhas, dispositivos de alarme e baterias de dispositivos de emergência.

Corrente principal: Corrente fornecida ao equipamento principal, imprescindível à operação do elevador tais como máquinas, variadores de velocidade e portas.

Energia auxiliar: Energia fornecida ao equipamento auxiliar, tais como lâmpadas, ventoinhas, dispositivos de alarme e baterias de dispositivos de emergência.

Energia de arranque/paragem: Energia utilizada durante aceleração ou desaceleração do elevador.

Energia principal: Energia fornecida ao equipamento principal, imprescindível à operação do elevador tais como máquinas, variadores de velocidade e portas.

Fator de carga: Rácio entre a energia utilizada em modo de manobra com a carga média do elevador e a energia medida em modo de manobra com a cabina vazia.

Máquina: Conjunto dos órgãos motores que asseguram o movimento e paragem do elevador.

Pontos de medição: Locais onde devem ser realizadas as medições da energia/corrente principal e auxiliar.

Teste de ciclos contínuos: Teste para o qual o elevador realiza ciclos de referência de um modo contínuo, manobrando entre o terminal inferior e o terminal superior (sem carga), incluindo a abertura e fecho de portas.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do problema

Hoje em dia existem dezenas de milhões de elevadores por todo o mundo, que em conjunto consomem milhares de TWh por ano de energia. Na Europa estima-se que o total de eletricidade consumido pelos elevadores seja de 18,4 TWh, repartidos por três setores da seguinte forma: 6,7 TWh para o setor residencial, 10,9 TWh no setor terciário e apenas 810 GWh no setor industrial [1]. Portanto, é de todo o interesse estudar formas de reduzir os consumos de energia elétrica. Como tal, torna-se prioritário identificar e caracterizar o setor convenientemente, assim como, identificar e desagregar os consumos de um elevador para se poder aplicar medidas a fim de reduzir os consumos energéticos e melhorar a eficiência energética destes equipamentos.

Em conjunto com a ADENE – Agência para a Energia, o Instituto de Sistemas e Robótica da Universidade de Coimbra, desenvolveu uma metodologia para a certificação energética de elevadores, baseada na norma internacional *ISO 25745:2012* [2] e na norma *VDI 4707* [3]. A metodologia é descrita no documento “Guia de Etiquetagem Energética de Elevadores” [4], referenciado mais a frente. De forma a avaliar os procedimentos experimentais e os métodos de cálculo para garantir a sua integração no Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos (SEEP) foi proposto avançar com uma fase de realização de testes experimentais utilizando a metodologia descrita no Guia e otimizar a metodologia adequando-a à realidade no terreno.

1.2 Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos (SEEP)

O SEEP é um sistema de marcação ou etiquetagem voluntário que permite ao utilizador final comparar o desempenho energético de produtos pela classificação do seu desempenho energético e ter acesso a produtos eficientes. Também promove a inovação da indústria nacional, promove a qualidade no setor e disponibiliza a formação de profissionais.

A etiqueta energética, amplamente utilizada na classificação energética de eletrodomésticos, é já uma presença familiar na aquisição de novos equipamentos, consumidores de energia. A etiqueta SEEP alarga este conceito de classificação do desempenho energético a

produtos não regulados pela Diretiva de rotulagem energética, mas que desempenham um papel fulcral no consumo e conseqüente desempenho energético dos edifícios.

Tal como na etiqueta energética aplicadas aos eletrodomésticos, a etiqueta SEEP classifica o desempenho energético dos produtos numa escala de “G” (menos eficiente) a “A” (mais eficiente), permitindo assim uma comparação direta entre produtos, facilitando a aquisição de produtos mais eficientes. Além da classificação energética, a etiqueta SEEP inclui ainda parâmetros técnicos que correspondem exclusivamente ao produto etiquetado, como por exemplo o número individual, e que permitem ao consumidor consultar informação detalhada sobre o produto adquirido.

Até agora, o único grupo de produtos com etiqueta energética do SEEP é o das janelas. O SEEP pretende expandir o mercado da etiquetagem até aos elevadores e para isso, com base na metodologia desenvolvida pela ADENE e pelo ISR, desenvolveu um documento que permite obter uma Etiqueta de Classificação de Desempenho Energético nos Elevadores – “Guia de Etiquetagem Energética de Elevadores”.

Esta metodologia pode ser aplicada a novos elevadores e a elevadores em serviço. Também pode ser utilizada para a reclassificação de um elevador após a sua modernização.

1.3 Guia de Etiquetagem Energética de Elevadores

Este Guia permite a avaliação e classificação da eficiência energética de elevadores, baseada em testes e métodos de cálculo dos seus consumos energéticos dando origem à elaboração de um certificado energético, e a disponibilização de medidas de melhoria para elevadores instalados com classes de desempenho baixas.

Está dividido em três partes: a metodologia experimental para os elevadores; o cálculo do desempenho energético; e medidas de melhoria de desempenho energético.

Este Guia permitirá a construtores civis, arquitetos e consultores envolvidos nas especificações de elevadores, empresas instaladoras e de manutenção de elevadores, e respetivos operadores, um enquadramento que lhes permita incluir as necessidades de energia dos elevadores na sua avaliação da eficiência energética de uma instalação e assim selecionar os equipamentos mais adequados [4].

1.4 Objetivos

Com a realização desta dissertação de mestrado pretende-se executar o projeto proposto anteriormente, realizando para isso auditorias em elevadores em uso, variando no tipo de tecnologia, na tipologia de edifício e na categoria em uso. Após realizadas todas as auditorias procedeu-se á análise dos dados recolhidos e ao cálculo dos valores em falta para a obtenção da classificação da eficiência energética de cada elevador. Com as classificações obtidas foi exequível elaborar um possível aspeto da etiqueta energética que cada elevador irá conter.

Com este estudo pode-se constatar o potencial envolvido na eficiência energética nos elevadores, isto comparando tecnologia menos eficiente com a mais eficiente.

Outros objetivos desta dissertação são a avaliação do impacto de medidas de melhoria para cada um dos diferentes tipos de elevadores e das poupanças energéticas associadas, e o impacto que a aplicação das etiquetas energéticas poderiam representar em Portugal. Uma vez que o preço da eletricidade continua com tendência a aumentar, a redução do consumo energético dos elevadores torna-se ainda mais importante. Uma vez que os ganhos económicos são outro grande atrativo o estudo sobre esta componente também será realizado.

2 TECNOLOGIAS TÍPICAS DE ELEVADORES

2.1 Nota histórica

Desde sempre que os meios de transporte verticais têm sido utilizados pelo Homem. Inicialmente apareceram na Grécia Antiga, onde eram usados arranjos rudimentares de cordas e roldanas para apoiar e mover o peso, e dependiam da energia humana, animal ou hidráulica.

Até 1878, os principais elevadores de pessoas eram movidos por poderosas máquinas a vapor, permitindo que se pudesse aceder aos pisos mais altos de um edifício de uma forma confortável. Nesse ano foi instalado o primeiro elevador hidráulico de pessoas no edifício Broadway 155 em Nova Iorque [5].

Apesar de o elevador elétrico ser mais compacto, o elevador com máquina a vapor permitia que se atingissem velocidades superiores, o que era muito importante para os edifícios cada vez mais altos que se estavam a construir na época.

Com o desenvolvimento de novos redutores foi possível ao longo dos anos aumentar a velocidade nominal do elevador elétrico de 0,5 m/s para 2,0 m/s, permitindo assim que este se tornasse competitivo também para o transporte de pessoas em edifícios de maior altura.

Em 1891, com o surgimento do sistema Ward-Leonard desenvolvido pelo engenheiro eletrotécnico americano Harry Ward-Leonard, foi possível desenvolver sistemas de elevadores com máquinas elétricas de alta velocidade e de velocidade variável [5].

Com o desenvolvimento dos variadores eletrónicos de frequência a partir da década de 80 do século 20, foi possível implementar sistemas de tração elétricos para elevadores que garantiam velocidades elevadas, com um maior conforto de andamento e com um muito inferior consumo de energia elétrica.

Atualmente, com as máquinas com motores síncronos de ímanes permanentes e sem redutor, controladas por modernos variadores eletrónicos de frequência, é possível não só otimizar o espaço necessário para a instalação do elevador (a não necessidade de casa de máquinas, por exemplo), mas também atingir níveis de eficiência energética muito elevados [5].

Independentemente do princípio de funcionamento, todos os elevadores têm elementos comuns, como sejam: cabines, portas, iluminação, ventilação, um motor e um dispositivo de controlo.

Há duas classes principais de elevadores: elevadores hidráulicos e de tração. Os elevadores de tração podem ainda ser subdivididos em duas categorias: com e sem redutor.

2.2 Elevadores de tração

Nos dias de hoje, os elevadores de tração elétrica podem ser utilizados em quase todas as aplicações sem nenhuma limitação considerável no que concerne a altura da viagem, a velocidade ou a carga, estando disponível não só uma vasta gama de velocidades – de 0,25 m/s a 17 m/s – como também de cargas – alguns elevadores de mercadorias podem transportar cargas com peso superior a 10.000 kg embora com velocidades muito baixas.

Nos elevadores de tração, a cabine está suspensa por cabos enrolados à volta de uma roldana (roda de aderência) movimentada por um motor elétrico, como está esquematizado na Figura 2-1. O peso da cabine é normalmente equilibrado através de um contrapeso, que equivale à massa da cabine mais 45% a 50% da carga calculada. O contrapeso tem como função principal assegurar tensão suficiente no sistema de suspensão de forma a garantir o desenvolvimento da tração adequada entre cabos/correias e a roda de aderência, mantendo quase constante o nível de energia potencial do sistema como um todo, reduzindo drasticamente o consumo energético [1].

Os elevadores de tração elétrica eram tradicionalmente equipados com motores DC devido ao seu fácil controlo, contudo o desenvolvimento dos controladores de frequência variável levaram à introdução dos motores AC de indução ou motores síncronos de ímanes permanentes (PMSM) que prevalecem atualmente [6]. Estes controladores proporcionam condições de funcionamento excelentes, com uma aceleração e desaceleração suaves e uma precisão de nivelamento elevada.

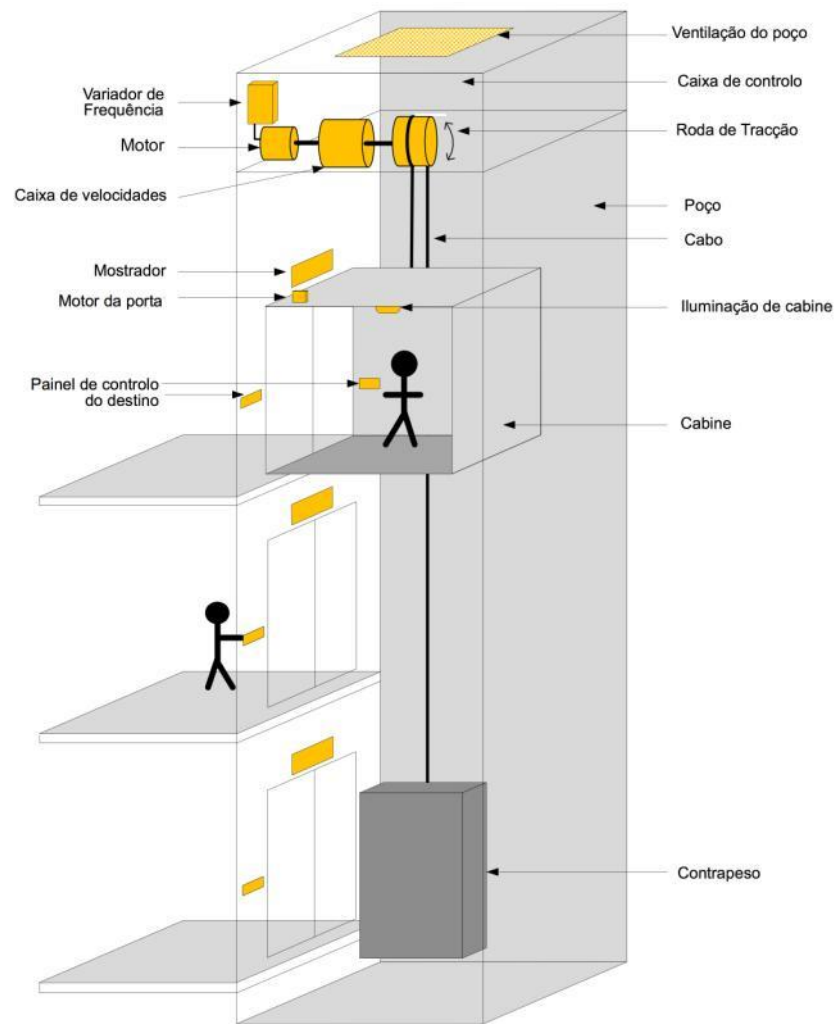


Figura 2-1 - Representação simplificada de uma instalação típica de elevador de tração convencional [1]

As vantagens do elevador de tração tradicional são:

- Maior rapidez e eficiência.
- Silencioso e suavidade ao longo da viagem.
- Disponível para edifícios muito altos.

As desvantagens do elevador de tração tradicional são:

- Custo de instalações mais elevado.
- Custos de estrutura significativos no topo do fosso do elevador.
- Requer casa das máquinas.

Dentro da gama dos elevadores de tração existem dois tipos: com e sem redutor.

2.2.1 Elevadores com redutor

Tipicamente, os elevadores com redutor são utilizados em aplicações de altura média (7 a 20 andares), onde a velocidade não é uma preocupação (a velocidade típica encontra-se no intervalo entre 0,1 m/s a 2,5 m/s) [1]. A caixa de redução permite a utilização de motores mais pequenos e mais baratos que podem funcionar a velocidades mais altas, produzindo o binário desejado.

A máquina é normalmente constituída pelo motor, travões, caixa de velocidades e roda de aderência, como ilustrado na Figura 2-2. A caixa de velocidades mais comumente utilizada é ainda do tipo sem-fim, composta por um fuso sem fim e uma roda dentada. A relação de redução da engrenagem é dada através da divisão do número de dentes da roda pelo número de entradas do fuso sem fim. Estes fusos são relativamente ineficientes e estão, em alguns casos, a ser substituídos pelas engrenagens helicoidais.

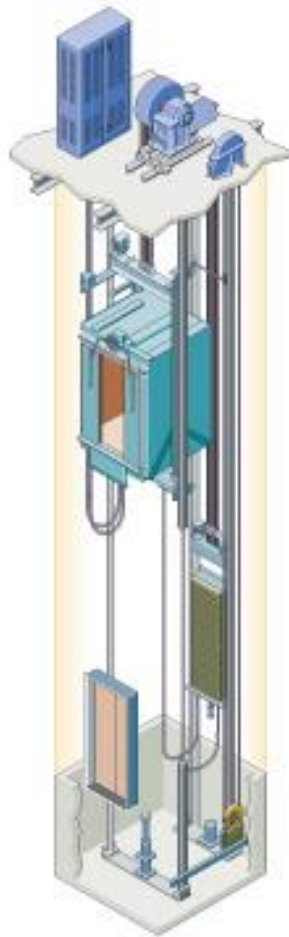


Figura 2-2 - Configuração típica de um elevador com redutor [7]

2.2.2 Elevadores sem redutor

Nos elevadores sem redutor, a roda de aderência é movimentada diretamente pelo motor, eliminando assim as perdas na caixa de velocidades. Este tipo de elevador tem sido normalmente utilizado em aplicações com alturas elevadas e com velocidades nominais entre 2,5 m/s e 10 m/s. Contudo, desenvolvimentos recentes tornaram a sua utilização possível em edifícios mais baixos e para velocidades abaixo dos 2,5 m/s [1].

A máquina dos elevadores sem redutor é composta por um motor, a roda de aderência e o travão, como exemplifica a Figura 2-3. Uma vez que o motor está diretamente ligado à roda de aderência, não existem perdas de transmissão e ambos rodam à mesma velocidade. O motor deve, por isso, rodar a uma velocidade muito baixa – a velocidade do cabo é igual ao diâmetro da roda de aderência multiplicada pela velocidade de rotação do motor. Por exemplo, para uma velocidade avaliada em 5 m/s e um diâmetro da roda de aderência de 750 mm, a velocidade exigida do motor é apenas de 128 rpm [1].

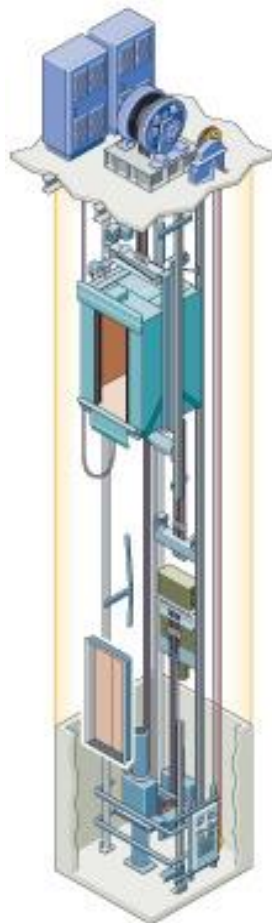


Figura 2-3 - Representação típica de um elevador sem redutor [7]

2.3 Elevadores sem casa das máquinas (MRL)

O desenvolvimento de elevadores sem casa das máquinas (MRL) com motores de tração sem caixa de velocidades resulta das inovações tecnológicas que reduziram significativamente o tamanho dos motores elétricos usados nos sistemas de tração, como exemplifica a Figura 2-4.

Em meados 1990, os projetos de elevadores começaram a usar motores síncronos de ímanes permanentes (PMSM) combinados com conversores de tensão variável, frequência variável (VVVF) [8]. Com estas evoluções foi possível reduzir o tamanho, o peso, o calor libertado e o consumo foi reduzido para metade em relação aos sistemas de tração tradicionais.

A poupança energética comparada com os sistemas hidráulicos é ainda mais substancial. Com a incorporação deste tipo de tecnologia, os elevadores não requerem a construção da casa das máquinas, que tipicamente se encontra localizada na parte superior da caixa do elevador para os elevadores de tração (ou na parte inferior para os elevadores hidráulicos) [1]. Em vez de se colocar a máquina de tração numa divisão separada, a mesma pode ser montada diretamente na caixa do elevador. Esta nova tecnologia criou uma cascata de benefícios ambientais.

Este novo *design* levou não só à redução do uso de óleos, que são ambientalmente muito poluentes, como à redução da energia no arranque e funcionamento do elevador. Também conduziu a uma maior segurança e eficiência nas técnicas de instalações e valorização do espaço interior. Hoje em dia o MRL é o produto montado por defeito nos edifícios de baixa e média altura na Europa e Ásia onde os sistemas hidráulicos estão quase extintos [8].

A eliminação da casa das máquinas leva a custos mais reduzidos de construção. Além disso, com a nova tecnologia de elevadores MRL usam-se motores mais pequenos e por isso diminui a energia de alimentação necessária [8]. Isto permite custos de construção mais baixos, custos de operação de energia no edifício também mais baixo e ainda mais espaço de construção no edifício para outros fins.

As vantagens do elevador de tração MRL:

- Requer menos espaço
- Não necessita de casa de máquinas
- Flexibilidade na instalação do armário de controlo
- Tamanho do motor e peso reduzido
- Reduz o consumo de energia
- Reduz a emissão de calor
- Elimina a necessidade de óleo

As desvantagens do elevador de tração MRL:

- Poderá requerer legislação especial, principalmente em países em que ainda não tenham adaptado legislação para esta tecnologia
- *Design* do interior limitado por peso da cabina
- Requerimentos da instalação variam de acordo com os construtores de elevadores

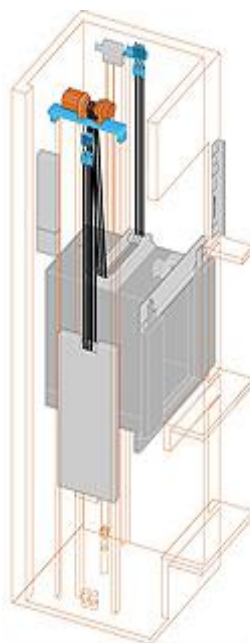


Figura 2-4 - Representação típica de um elevador sem casa de máquina [7]

2.4 Elevadores Hidráulicos

O elevador hidráulico, como pode ser observado na Figura 2-5, usa um cilindro hidráulico debaixo da cabine. A bomba hidráulica é acionada por um motor elétrico. A bomba força o fluído a entrar no cilindro abaixo do pistão, forçando o pistão a subir. Quando o elevador está a descer, a energia potencial é convertida em calor que deve ser dissipada. Nestes sistemas, o cilindro hidráulico está alojado no solo, sendo impermeável para evitar que o fluído hidráulico vaze para o solo contaminando a água deste.

Uma vez que tipicamente os elevadores hidráulicos não têm contrapeso, os elevadores hidráulicos convencionais são os menos eficientes, consumindo por vezes três vezes mais eletricidade do que os elevadores de tração.

Os elevadores hidráulicos viajam a baixas velocidades, tipicamente abaixo do 1 m/s. A distância máxima de viagem para este tipo de elevadores é de cerca de 20 m e encontram-se limitados a não mais do que 7 andares [6]. Isto deve-se ao facto de à medida que a altura da viagem aumenta, aumenta também o diâmetro dos pistões utilizados para conseguir resistir às

forças de vorejamento. Este facto aumenta o custo do equipamento o que torna menos atrativa a utilização dos elevadores hidráulicos quando existem alternativas melhores.

Vantagens dos elevadores hidráulicos:

- Não necessita de uma casa das máquinas no topo do edifício.
- As dimensões do fosso do elevador são otimizadas.
- A carga é distribuída ao longo das calhas de suporte da cabine, logo não necessita de uma estrutura de suporte no topo do edifício.
- A casa das máquinas pode ser colocada remotamente.
- O custo deste tipo de instalação é menor do que os sistemas de tração convencionais.

Desvantagens dos elevadores hidráulicos:

- Necessita de casa das máquinas para a bomba hidráulica e o sistema de controlo.
- Velocidade e performance limitadas.
- Elevado ruído sonoro comparado com outros sistemas.
- Odor devido ao aquecimento do óleo.
- Preocupações ambientais devido ao uso de óleo.
- Qualidade de viagem baixa comparada com outros sistemas.

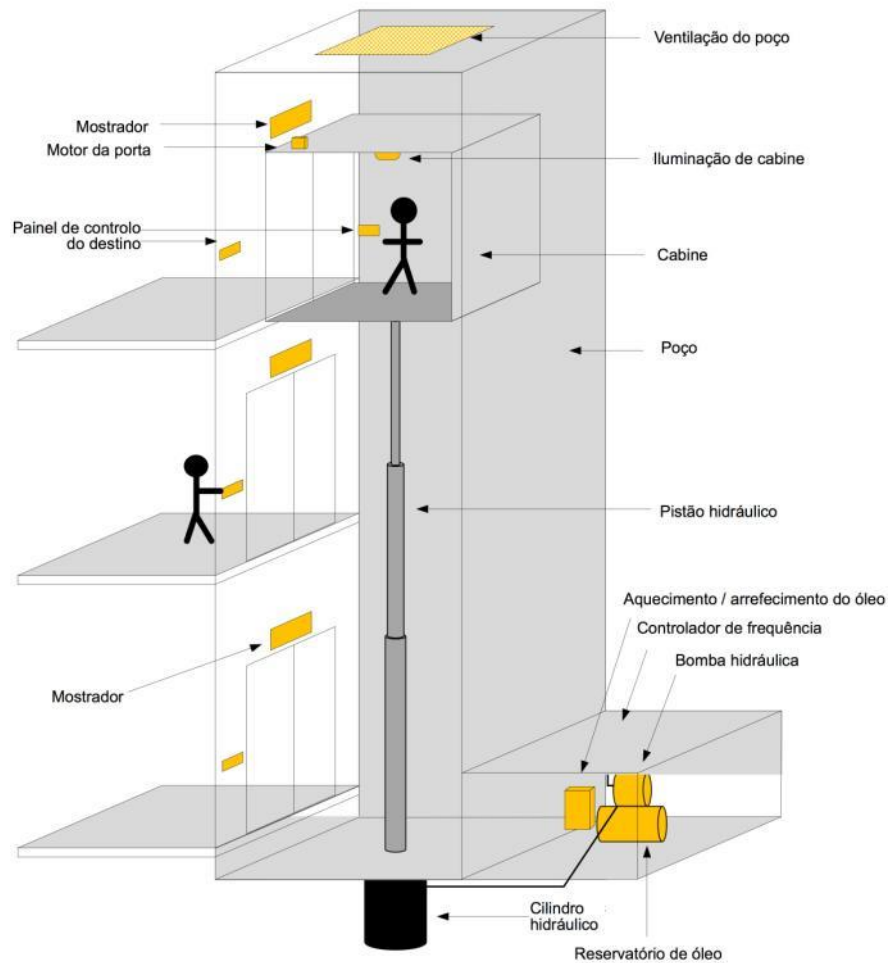


Figura 2-5 - Esquema simplificado de uma instalação típica de um elevador hidráulico convencional [1]

2.5 Tecnologias Eficientes em Elevadores

Tipicamente, as principais preocupações no projeto de um elevador são: a segurança, a velocidade da deslocação, o ruído, o conforto e o espaço ocupado.

Contudo, a procura por produtos energeticamente eficientes e por edifícios verdes tem aumentado nos últimos anos, e a indústria dos elevadores respondeu de acordo com as necessidades apresentando aos seus clientes soluções que vão ao encontro destas exigências crescentes.

O aumento dos preços da eletricidade contribuiu também para a procura de soluções mais eficientes. Em algumas aplicações, os custos de eletricidade ultrapassam bastante o custo inicial do equipamento, daí que o investimento num elevador energeticamente eficiente seja frequentemente uma solução rentável para aplicações com tráfego elevado.

Os desenvolvimentos tecnológicos energeticamente eficientes têm diferentes abordagens que lidam com diferentes problemas para as ineficiências dos sistemas de transporte vertical.

Estes problemas podem ser divididos em dois grandes grupos: diretos e indiretos. Os problemas diretos são os que podem ser diretamente relacionados com o equipamento, sendo os mais comuns: perdas de fricção; perdas de transmissão; perdas de motor; perdas na travagem; perdas da iluminação e perdas do controlador.

Os problemas indiretos estão relacionados com o funcionamento do equipamento e são associados com o comportamento do utilizador ou com as opções de gestão de tráfego.

Nesta secção, será feita uma breve descrição das tecnologias energeticamente eficientes aplicadas a elevadores.

2.5.1 Motores de Indução de eficiência Premium

No passado, os motores DC com escovas foram a tecnologia de eleição para os elevadores pois são fáceis de controlar, fornecendo a melhor qualidade de viagem e um nivelamento preciso.

Nas últimas décadas, devido a um aumento do rigor na regulamentação a nível mundial, os motores de indução foram sujeitos a melhorias significativas de eficiência.

Os motores de indução têm um preço mais baixo, são mais robustos e requerem muito menos manutenção do que os motores DC.

Tipicamente, os motores de elevada eficiência são construídos com materiais magnéticos de qualidade superior, circuitos magnéticos maiores com chapas laminadas mais finas, secções transversais maiores de cobre/alumínio nos enrolamentos do estator e do rotor, tolerâncias mais exigentes, controlos de melhor qualidade e um *design* otimizado [1]. Por conseguinte, estes motores têm menos perdas e uma maior eficiência. Devido às perdas reduzidas, a temperatura de funcionamento pode ser mais baixa, o que origina uma fiabilidade acrescida.

A Figura 2-6 apresenta algumas opções para aumentar a eficiência dos motores de indução.

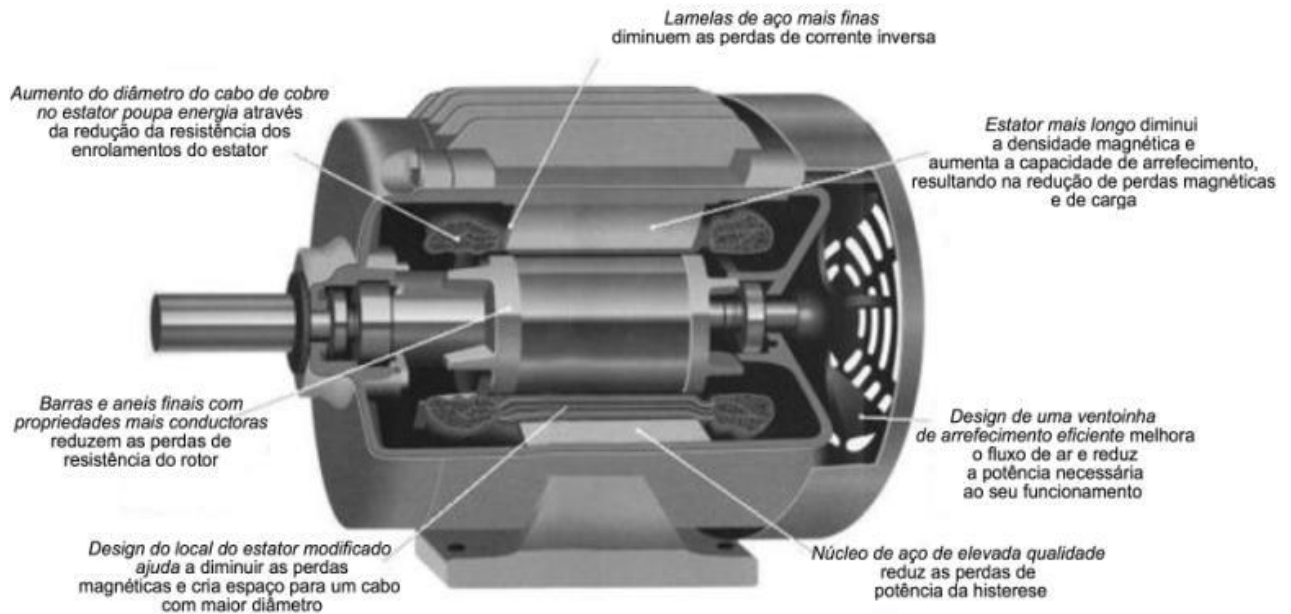


Figura 2-6 - Opções para aumentar a eficiência dos motores de indução [1]

2.5.2 Controladores Avançados e Regeneração

A escolha do controlador é historicamente motivada por fatores como a velocidade do percurso, a precisão do nivelamento e o conforto.

Nos dias de hoje, o controlador de Tensão Variável e Frequência Variável (VVVF) é o mais utilizado, pois assenta no princípio fundamental em que a velocidade de um motor de indução está diretamente relacionada com a frequência aplicada aos enrolamentos do estator. Variando a frequência e mantendo a proporção tensão/frequência constante, a curva velocidade-binário desloca-se, mantendo um binário de arranque constante e a mesma inclinação da região linear da curva [1].

A Figura 2-7, ilustra a configuração mais generalizada de um controlador VVVF. O fornecimento da corrente trifásica alternada, com 50 Hz, é inicialmente convertido em corrente direta e em seguida filtrada; finalmente o inversor converte a tensão DC na tensão e frequência desejadas para aplicação no motor.

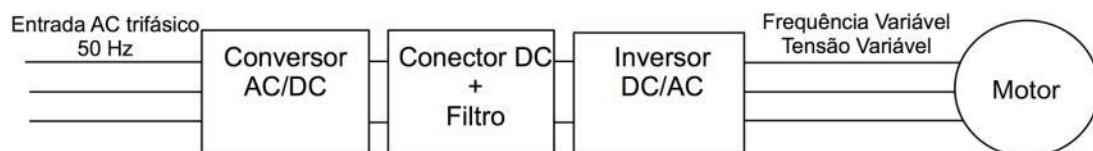


Figura 2-7 - Configuração geral de um controlador VVVF [1]

O controlador VVVF mais comumente utilizado é o inversor com modulação por largura de impulso (PWM - Pulse With Modulation).

Alguns controladores VVVF modernos utilizam um método sofisticado de controle designado por Controle de Vetor. O objetivo do Controle de Vetor é de controlar de forma independente o binário e o fluxo numa máquina AC. Na maioria das VSD (Variable Speed Drives), enquanto a relação V/f permanece constante, o fluxo é apenas mantido quase constante e, sob condições dinâmicas, esta situação fornece estratégias limitadas de controle [6].

A atenção dos investigadores concentrou-se na simplificação e no aperfeiçoamento destes métodos de controle sofisticados.

A energia potencial está constantemente a ser transferida com a movimentação da cabine. Se, por exemplo, o elevador está a movimentar-se para baixo com a carga total (ou para cima, completamente vazio) na realidade, o motor está a ser conduzido pela carga e a prevenir a queda da cabine. Tipicamente, a energia gerada no motor (travagem) dissipa-se numa resistência; é devolvida à rede naturalmente, se o motor, que funciona como gerador, estiver diretamente ligado à rede; ou dependendo da topologia, alguns controladores VVVF também permitem que a energia da travagem seja injetada na rede [6].

Em alguns países, existem restrições no que concerne a injeção de energia na rede de distribuição. Mesmo nestes casos, a travagem regenerativa não deve representar um problema, uma vez que a carga total do edifício (computadores, servidores, iluminação, sistemas de AVAC) será muito maior do que o pico de energia injetada pelo elevador.

Quando o elevador está no movimento descendente, e o peso da carga (pessoas na cabine) é maior do que o contrapeso, então o binário do motor está na direção oposta à velocidade, ou seja, o motor está a travar. Da mesma forma, quando o elevador está no movimento ascendente sem carga, pode-se obter poupanças energéticas se o motor for controlado com um controlador VVVF regenerativo.

Teoricamente, se não houver perdas, a energia regenerada será igual à energia motorizada. Contudo, há sempre perdas devido à existência de perdas de fricção (por ex: fricção nas guias, resistência do ar), perdas de motor (por ex: perdas de cobre, perdas de ferro e as perdas de fricção e de desvios) e, nos sistemas com redutor, perdas na caixa de velocidade (particularmente significativa nos sistemas equipados com engrenagens sem-fim onde a eficiência na direção inversa é consideravelmente mais baixa do que na direção em frente) [1].

Contudo, a regeneração nem sempre é rentável, especialmente em edifícios baixos e médios com tráfego reduzido, pois acrescenta um custo significativo à instalação.

A Figura 2-8 ilustra o funcionamento de um elevador equipado com controlador regenerativo.

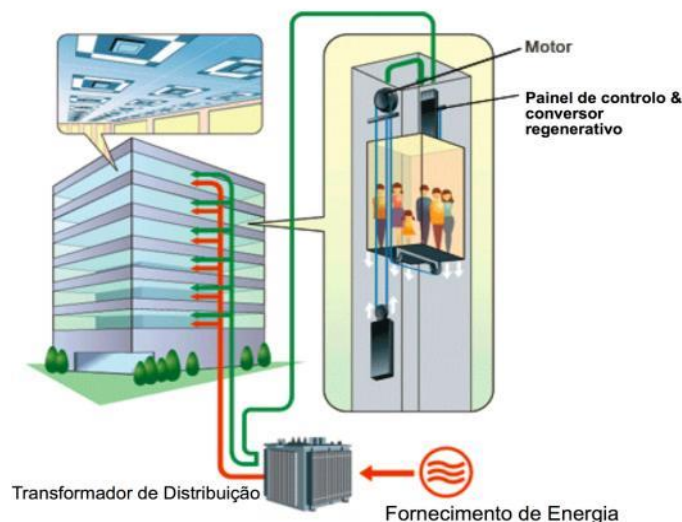


Figura 2-8 - Operação regenerativa de um elevador equipado com um inversor regenerativo [1]

Recentemente, foram introduzidos sistemas regenerativos em elevadores hidráulicos que utilizam acumuladores hidráulicos tipo membrana que atuam como contrapeso, permitindo assim a utilização de um motor menos potente. Estes tanques de alta-pressão cheios de gás acumulam energia durante a descida da cabine através do aumento de pressão do gás no acumulador. Essa energia é libertada durante a subida da cabine.

2.5.3 Motores de Ímanes Permanentes

Os Motores Síncronos de Ímanes Permanentes (PMSM) estão rapidamente a tornar-se a tecnologia mais importante dentro do mercado de elevadores na Europa. Estes apresentam grandes vantagens como sejam: sistema mecânico simplificado para o elevador, conforto melhorado, ruído e vibrações reduzidos e poupanças energéticas.

Deve-se ter especial atenção de forma a assegurar que a temperatura de funcionamento do motor respeita os limites máximos dos ímanes permanentes evitando a desmagnetização.

A utilização de ímanes permanentes permite a criação de um arranjo multi-pólos, e o resultado é uma máquina mais compacta, com uma eficiência mais elevada, binário elevado/velocidade baixa ideal para aplicações de elevadores sem redutor [1].

A compacidade dos PMSM e a utilização da ligação do controlador direta permitem a eliminação da casa das máquinas, acima ou adjacente à caixa. O motor e os sistemas de controlo podem ser instalados dentro da própria caixa, em vez de os montar numa divisão separada. A ausência da casa das máquinas dá azo a custos de construção mais baixos e liberta espaço

altamente valioso que normalmente é ocupado pelos sistemas de apoio aos elevadores. Mais ainda, as casas das máquinas dos elevadores são áreas onde pode ocorrer infiltrações e onde ocorrem perdas térmicas resultantes do próprio edifício.

Ainda que a atual tecnologia assíncrona sem redutor VVVF seja muito eficiente energeticamente, as eficiências do motor e do controlador estão normalmente abaixo dos 90%, para potências mais baixas [1]. A Figura 2-9 mostra os níveis elevados de eficiência dos motores PM quando comparados com os motores de indução alimentados por inversores.

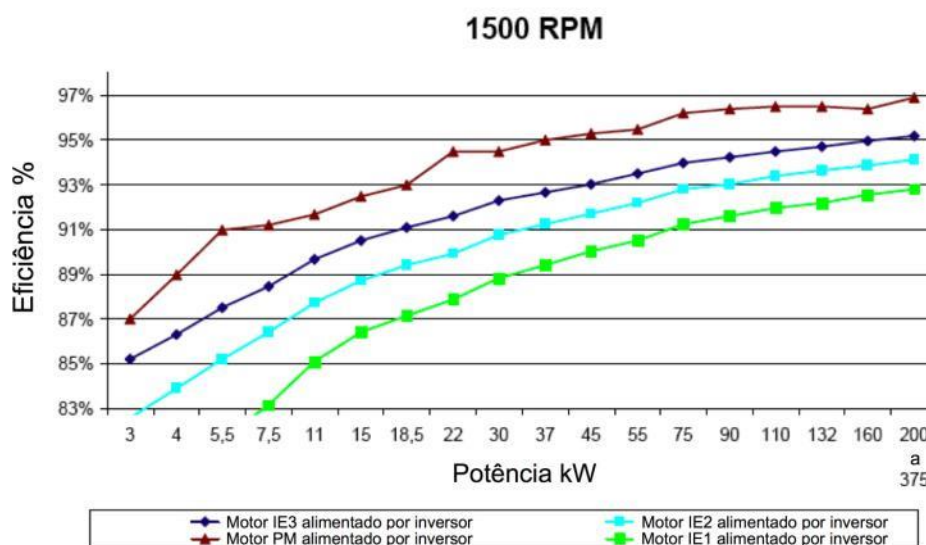


Figura 2-9 - Comparação da eficiência dos motores de indução alimentados por inversores e de ímãs permanentes [1]

2.5.4 Perdas em Standby

Para além da utilização de componentes eficientes, também se pode poupar energia desligando o equipamento, ou fixando-o em modos de poupança de energia, quando não estão a ser utilizados. Durante os períodos de baixa utilização, desligar um ou mais elevadores, dentro de um grupo, pode ser uma boa opção para poupança de energia, sem comprometer a qualidade do serviço.

Uma alternativa é manter dois modos distintos de standby a funcionar em sequência. O primeiro não implica o aumento do tempo de espera do passageiro uma vez que apenas as componentes que podem ser ligadas instantaneamente estariam completa ou parcialmente desligadas. Essas componentes podem ser:

- Iluminação;
- Ventilação;
- Botoneiras da cabine (setas de direção, indicação do andar, etc.);
- Mostradores de piso com intensidade de iluminação regulável.

O segundo modo standby desliga mais componentes, sendo que no entanto o sistema pode demorar mais tempo a ligar devido à natureza dos equipamentos desligados, nomeadamente:

- Unidade controladora;
- Operadores da porta;
- Sistemas eletrónicos da cabine;
- Cortinas de luz / sensores na porta.

Devido à extensão dos períodos de espera – a sequência de reiniciação pode demorar cerca de 30 segundos – este segundo modo de standby será apenas adequado para períodos longos de não utilização do elevador.

3 MERCADO DE ELEVADORES

3.1 Introdução

Os resultados apresentados têm por base dois estudos, um conduzido pela Associação Nacional dos Industriais de Elevadores e Escadas Rolantes (ANIEER) e outro pelo Banco de Portugal.

Será realizada uma breve caracterização do setor da construção em Portugal, em que aspetos os elevadores são representados, assim como perspectivas de evolução.

Seguidamente será descrita a produção e consumo de eletricidade e a sua recente evolução. O impacto ambiental da produção de eletricidade é também analisado.

3.2 Mercado de Elevadores em Portugal

Em Portugal existem cerca de 140.000 elevadores instalados, de acordo com um estudo desenvolvido pela ANIEER em 2007, que representam cerca de 3% do total do mercado na Europa. A maioria dos elevadores (90%) são de tração e os restantes hidráulicos, como representado no Figura 3-1. Estes valores não se encontram de acordo com a restante Europa uma vez que 60% dos elevadores no mercado Europeu são do tipo hidráulico. Os elevadores de tração podem ser divididos em tração com redutor e sem redutor, e a sua representação no mercado é de aproximadamente 89% e 11% respetivamente.

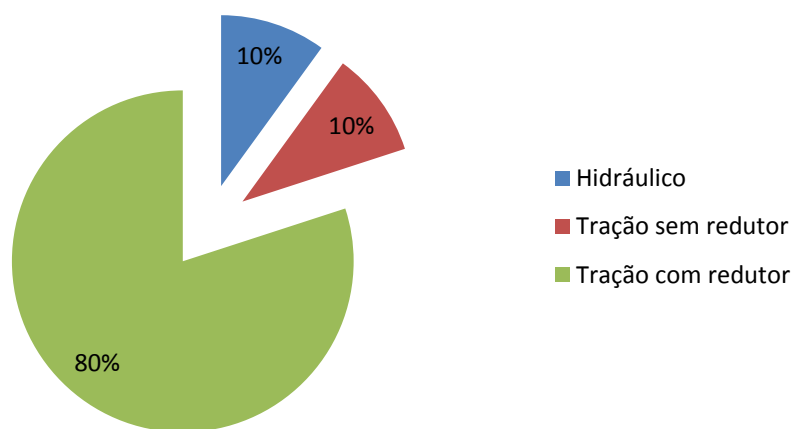


Figura 3-1 - Distribuição dos elevadores por tecnologia usada (ANIEER, 2007)

Representando o setor de acordo com o tipo de edifício em que os elevadores são instalados sabe-se, de acordo com o Figura 3-2, que cerca de 70% são em edifícios residenciais, seguidamente são os edifícios de escritório com 15%, hotéis com 8%, hospitais com 4%, e edifícios comerciais com 2%. Os restantes 1% são usados em outros tipos de edifícios como por exemplo terminais de transporte ou instalações industriais.

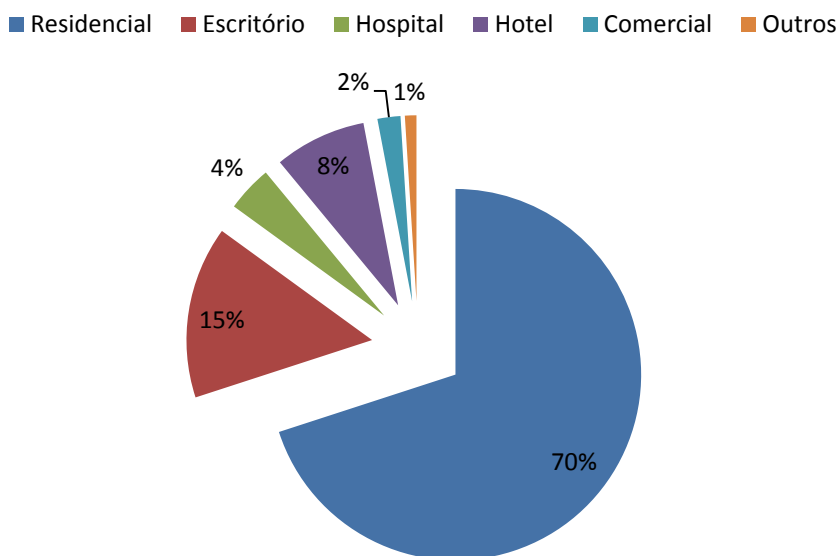


Figura 3-2 - Distribuição dos elevadores por tipo de edifício (ANIEER, 2007)

3.3 Setor da Construção em Portugal

Em 2012, o setor da construção representava perto de 12% do número de empresas, 11% do emprego e 7% do volume de negócios das sociedades não financeiras (SNF) em Portugal. No total das SNF, este setor foi o segundo mais importante em número de empresas e o terceiro em volume de negócios e em emprego. Não obstante, o peso deste setor no conjunto das SNF diminuiu nos últimos 10 anos, nomeadamente no volume de negócios, em que recuou 3 p.p. [9].

À semelhança das SNF, o setor da construção é essencialmente constituído por microempresas. Contudo, as PME são mais relevantes no emprego e no volume de negócios. Neste setor, tal como na generalidade das atividades em Portugal, as sedes sociais das empresas encontram-se fortemente concentradas nos distritos de Lisboa e Porto.

No setor da construção predomina o segmento da “Construção de edifícios”, que, em 2012, compreendia mais de metade das empresas (60%, que compara com 34% nas “Atividades especializadas” e 6% na “Engenharia civil”) – Figura 3-3. Em termos do volume de negócios, o

contributo da “Construção de edifícios” era inferior, embora relevante (40%), logo seguido pela “Engenharia civil” (38%) [9].

A evolução do número de empresas em atividade no setor da construção tem determinado a diminuição do peso relativo do setor no conjunto das SNF em Portugal. O número de empresas em atividade no setor tem vindo a diminuir nos últimos cinco anos. Em 2012, este decréscimo foi de 4% [9].

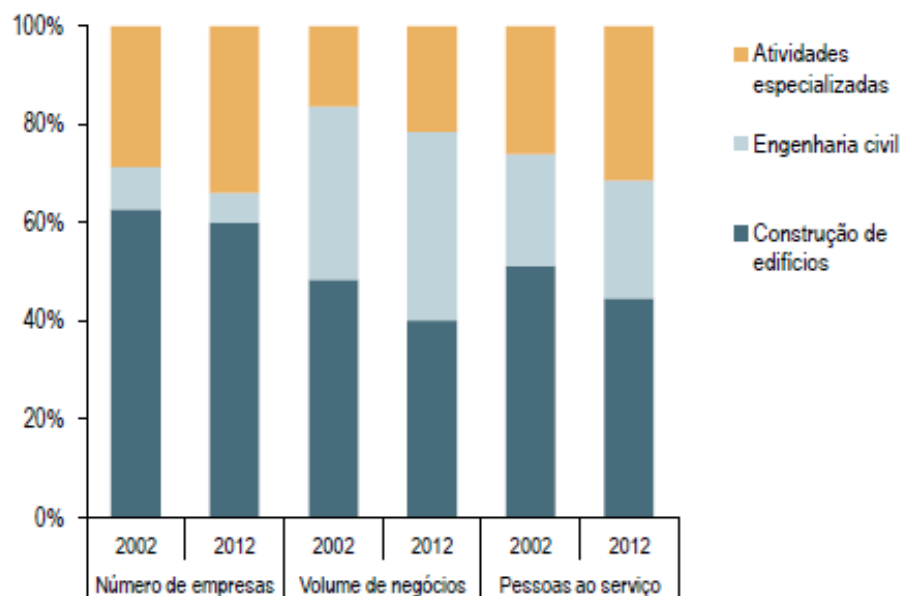


Figura 3-3 - Distribuição do setor da construção [9]

Em 2012 e pelo segundo ano consecutivo, o volume de negócios do setor da construção decresceu (26%, depois de ter diminuído 17% em 2011). De entre os principais setores de atividade económica, o setor da construção foi o que apresentou a maior queda no volume de negócios.

3.4 A Energia em Portugal

Após as fortes quebras no consumo de energia final de 2011 e 2012, o ano de 2013, caracterizou-se pela tendência de estabilização dos consumos de energia final e primária. A caracterização da energia primária e final no ano de 2013 encontra-se representada na Figura 3-4.

Por forma de energia, salienta-se o aumento de 7% nas importações de petróleo e produtos de petróleo, tendo no entanto as exportações destes produtos crescido 43% [10].

O ano de 2013 caracterizou-se por ter um elevado índice de hidraulicidade permitindo aumentar a produção doméstica de energia elétrica em 58%, provocando uma forte redução no consumo de carvão e gás natural na produção termoelétrica (-9% e -70%, respetivamente) [10].

O aumento da produção das refinarias e petroquímica originou um incremento de 41% no conjunto dos consumos próprios e de matérias-primas. A queda de cerca de 10% no saldo importador possibilitou que a dependência energética evoluísse de 79,4% em 2012 para 71,5% em 2013. [10]

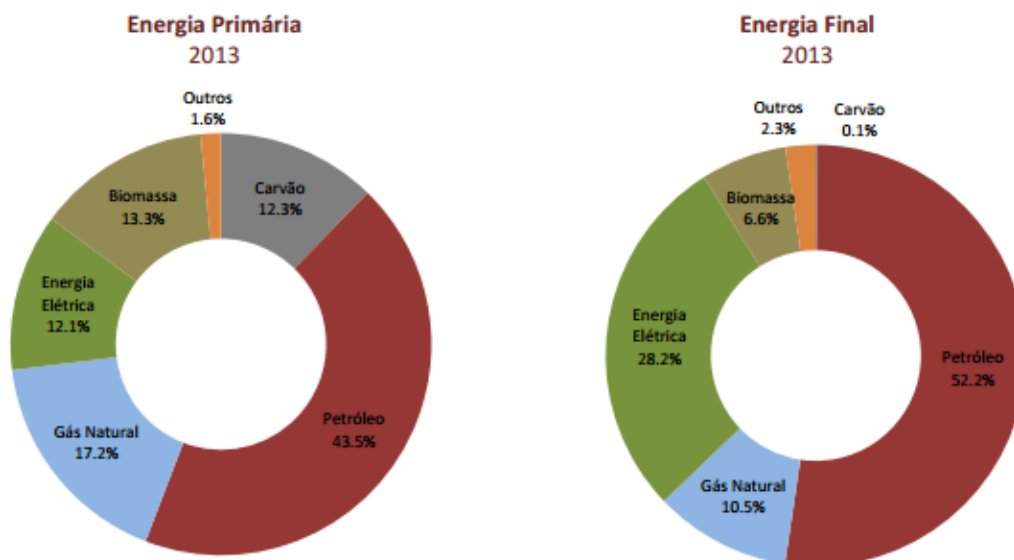


Figura 3-4 – Energia primária e final no ano de 2013 [10]

A produção de eletricidade a partir de fontes renováveis em Portugal foi responsável por 58,3% do total energia elétrica consumida, com um aumento de 20% em relação a 2012. Considerando apenas a produção nacional, a contribuição das renováveis cifrou-se no valor recorde de 61,7%.

O contraste entre 2012 (que foi um ano muito seco, 58% abaixo da média) e 2013 (relativamente húmido, 17% acima da média) fez com que a produção de eletricidade renovável da grande hídrica mais que duplicasse.

Além disso, 2013 foi também favorável em termos de vento, conduzindo a um aumento de quase 20% da produção de eletricidade a partir desta fonte.

Na fotovoltaica, o aumento da capacidade instalada permitiu um aumento de 25% em relação a 2012, apesar de ainda não ter atingido 1% do consumo, o que revela um enorme potencial de crescimento.

A produção de eletricidade de origem renovável em regime especial (a PRE-FER, ou seja, toda a renovável à exceção da grande hídrica) em 2013 permitiu também poupar 806 milhões de euros na importação de combustíveis fósseis (gás natural e carvão) e 40 milhões de

euros em licenças de emissão de CO₂. No total, a produção de eletricidade renovável por produtores independentes permitiu uma poupança de 846 milhões de euros.

As emissões associadas à produção de energia elétrica somaram 13 milhões de toneladas de CO₂ em 2013, cerca de 20% do total de emissões de gases de efeito de estufa atuais de Portugal. Sem eletricidade renovável em Portugal e com a produção a ser assegurada recorrendo somente à utilização de toda a capacidade instalada das centrais a carvão, em combinação com as centrais a ciclo combinado a gás natural, as emissões atingiriam 26 milhões de toneladas de CO₂. Este valor corresponderia ao dobro do atual, cerca de 40% do total de emissões de gases de efeito de estufa de Portugal. Entre 2012 e 2013 verificou-se uma redução nas emissões de CO₂ na ordem das 2,3 milhões de toneladas, das quais 1 milhão decorreram da redução do recurso às centrais a carvão.

Entre 2012 e 2013 teve lugar um ligeiro aumento do consumo mesmo em tempos de austeridade, da ordem dos 0,2% em relação a 2012. A intensidade energética (na eletricidade) que resulta da quantidade de energia elétrica necessária por unidade de Produto Interno Bruto gerada está assim a evoluir desfavoravelmente dado que a evolução do PIB em 2013 se estima num decréscimo de 1,4%.

Representar a evolução do preço da eletricidade nos últimos anos é também muito importante para se poder avaliar até que ponto optar por tecnologias mais eficientes pode ser relevante em termos de poupanças monetárias e quanto as etiquetas podem influenciar este mesmo aspeto, como será feito mais à frente.

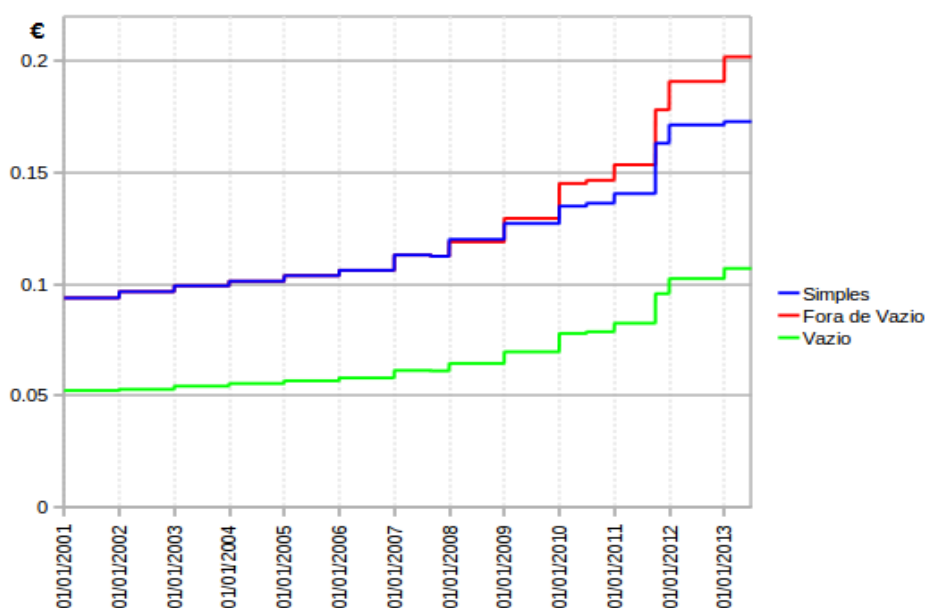


Figura 3-5 – Evolução dos preços da eletricidade entre 2001 e 2013 [11]

A Figura 3-5 reflete a evolução do preço da eletricidade (em €/kWh) entre 2001 e 2013, para consumidores com uma potência de 3.45 kW (a maioria dos clientes domésticos, não a tarifa que é aplicada tipicamente aos elevadores), com IVA incluído. Estão disponíveis os valores para a tarifa simples e bi-horária. Para a potência referida anteriormente e para a tarifa simples foi escolhido o tarifário da EDP, em que o preço da energia é de 0,1497 €/kWh [11].

3.5 Conclusões

A evolução do mercado dos elevadores está diretamente ligado à evolução do setor da construção. Como demonstrado anteriormente o setor da construção em Portugal tem vindo a sofrer uma forte quebra em termos de volume de negócios, pelo que a construção de edifícios se encontra praticamente parada. Isto indica que o número de elevadores em Portugal nos últimos anos não sofreu alterações significativas e que é de todo plausível utilizar dados relativos aos últimos 5 anos, como será feito posteriormente.

Uma vez que não sofreu alterações o mercado de elevadores pode tirar partido das oportunidades que aparecem com a renovação dos diferentes tipos de edifícios.

Em relação à energia em Portugal pode-se concluir que os indicadores apontam para um maior uso da eletricidade por unidade de riqueza produzida o que revela problemas estruturais em termos de eficiência energética que têm de ser ultrapassados. Uma vez que existe um considerável potencial de poupança atingível nos elevadores, com a seleção da tecnologia apropriada, seria possível reduzir diretamente o consumo de eletricidade e indiretamente o impacto ambiental, como também levaria a poupanças económicas através de contas de energia mais baixas.

4 ETIQUETAGEM DE ELEVADORES

4.1 Introdução

A energia necessária para o funcionamento diário de um edifício tem um grande impacto no ambiente, o mesmo se aplica aos elevadores. A quantidade de energia que um elevador consome enquanto se encontra em serviço é crucial para determinar o seu impacto ambiental.

A etiqueta energética, exemplificada na Figura 4-1, amplamente utilizada na classificação energética de eletrodomésticos tais como arcas congeladoras e frigoríficos, é já uma presença familiar na aquisição de novos equipamentos e consumidores de energia.

De modo a ser possível classificar o desempenho energético de um elevador uma associação independente de engenheiros alemães desenvolveu a norma VDI 4707 [3]. A norma define 7 classes de consumo que vão desde a “A” até à “G”, sendo a “A” o sistema mais eficiente. Esta norma está rapidamente a tornar-se o padrão-chave no mercado mundial.

A avaliação é realizada por um organismo independente e para a determinação da classe utilizam-se os dados chave: a energia utilizada para um trajeto de referência e a energia necessária no modo standby. O resultado final da classificação depende do tipo de edifício, do percurso, da frequência de utilização e da carga.


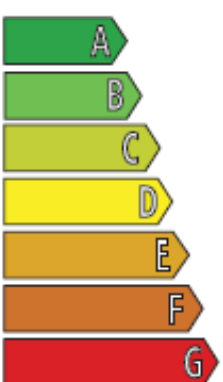

Manufacturer:	 Schindler	 
Place:	Test Tower, Zugerstrasse 13, 6030 Ebikon	
Elevator Model:	HighEfficientUpDown 1.0	
Type:	Traction Elevator	
Nominal Load:	630 kg	
Speed:	1 m/s	
Standby: ≤ 50 W (Class A)	Operational: ≤ 0,80 kWh/(m x kg) (Class A)	
Category of Use 1 (VDI 4707) Energy efficiency classes can only be compared across the same usage category		

Figura 4-1 - Exemplo de um certificado energético de um elevador de acordo com a VDI 4707 [12]

4.2 Para que servem as Etiquetas Energéticas?

A etiqueta de eficiência energética foi criada com o objetivo de informar o consumidor, no momento da compra, sobre determinadas características dos equipamentos, utilizando uma classificação para identificar os mais e os menos eficientes.

Para além da eficiência no consumo de energia, a etiqueta de eficiência energética apresenta informação sobre outras características dos equipamentos como por exemplo o ruído que alguns podem produzir.

A certificação através desta etiqueta, regulamentada por lei, é já obrigatória para lâmpadas e vários eletrodomésticos: máquinas de lavar loiça, lavar roupa e secar roupa, frigoríficos, equipamentos de ar condicionado e ainda fornos elétricos.

A etiqueta deve estar afixada de forma a ser bem visível e tem de apresentar toda a informação exigida por lei. Também na venda por correspondência é obrigatória a sua disponibilização ao consumidor.

A classificação da eficiência energética, que vai da classe A (mais eficiente) à G (menos eficiente), indica se um equipamento consegue realizar as suas funções utilizando mais ou menos energia, sendo assim menos ou mais eficiente, respetivamente. No caso dos equipamentos de frio, como frigoríficos, e máquinas de lavar, já existe a classificação A+, A++ e A+++.

É importante ter em conta que a potência do equipamento não está diretamente relacionada com a sua eficiência energética. Um aparelho ter uma potência de 750 W ou de 1000 W significa que usa mais ou menos energia a trabalhar, embora não diga se ele usa mais eficientemente ou não a energia que consome. Essa é precisamente a informação dada pela classe de eficiência energética do equipamento.

Para dar uma noção do que significa um equipamento ser de classe A ou B, no caso das máquinas de lavar roupa uma máquina de classe B pode consumir cerca de 21% a mais de energia do que uma de classe A, sendo que os dois equipamentos realizam a mesma função.

A etiqueta energética é comparável entre equipamentos que realizam o mesmo tipo de funções. Por exemplo, se estamos na dúvida entre comprar uma máquina de lavar e secar roupa e comprar uma máquina de lavar e outra de secar, não poderá comparar a classe energética dos diferentes equipamentos.

A informação a disponibilizar na etiqueta depende do equipamento em causa.

Uma ideia generalizada é que um equipamento mais eficiente, e portanto melhor, é necessariamente mais caro – o que na realidade não se verifica. De facto, não se verifica qualquer relação entre eficiência e preço para qualquer uma das gamas de equipamentos

abrangidos por esta classificação. É mesmo possível encontrar equipamentos de classe C consideravelmente mais caros do que outros de classe A, sendo que nesta classe mais eficiente existem bastantes equipamentos a preços acessíveis.

No entanto, mesmo tendo de pagar um pouco mais por um equipamento mais eficiente, esse investimento será mais tarde recuperado na redução do consumo energético que o equipamento irá proporcionar (é de notar que o tempo de vida deste tipo de equipamentos é muito grande, normalmente superior a 20 anos). Ao optar por um mais barato e menos eficiente pode-se acabar por pagá-lo em prestações na fatura da eletricidade.

4.3 Metodologia para Etiquetação

Após uma análise metódica da metodologia presente no “Guia de Etiquetação Energética de Elevadores” foi possível alterar a mesma de modo a aperfeiçoá-la e a tornar mais fácil e simples a sua aplicação. As alterações efetuadas serão referenciadas posteriormente.

Apresenta-se de seguida a metodologia final, dividida em duas partes:

4.3.1 Parte A – Metodologia Experimental para Certificação Energética

Esta primeira parte do Guia mostra a metodologia a seguir pelos fabricantes, empresas de manutenção e de inspeção de forma a obter o consumo energético do elevador.

Será feita apenas uma breve descrição da metodologia com o objetivo de ajudar a perceber os procedimentos básicos das medições realizadas. Contudo a descrição mais detalhada encontra-se presente no “Guia de Etiquetação Energética” [4].

Referências normativas utilizadas na metodologia:

Normas ISO:

ISO 25745:2012: “Energy performance of lifts, escalators and moving walks”

- *Part 1: Energy measurement and verification*
- *Part 2: Energy calculation and classification for lifts (elevators)*

Normas VDI:

VDI 4707 1-2:2009: “Lifts”

Normas IEC:

IEC 61000-4-30:2003: “Electromagnetic compatibility (EMC): Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods (part 4)”

IEC 62053:2003, “Electricity metering equipment (AC – Alternating Current)”

Pontos onde se realizaram as medições:

As medições dos valores de consumo de energia devem ser efetuadas à saída do interruptor do circuito principal de energia do equipamento principal e a seguir à saída do interruptor para o circuito do equipamento auxiliar (ver Figura 4-2).

Caso o interruptor do circuito do equipamento auxiliar esteja depois do interruptor principal de energia, devem ser realizadas medições no ponto principal de medição P1 (interruptor do equipamento principal).

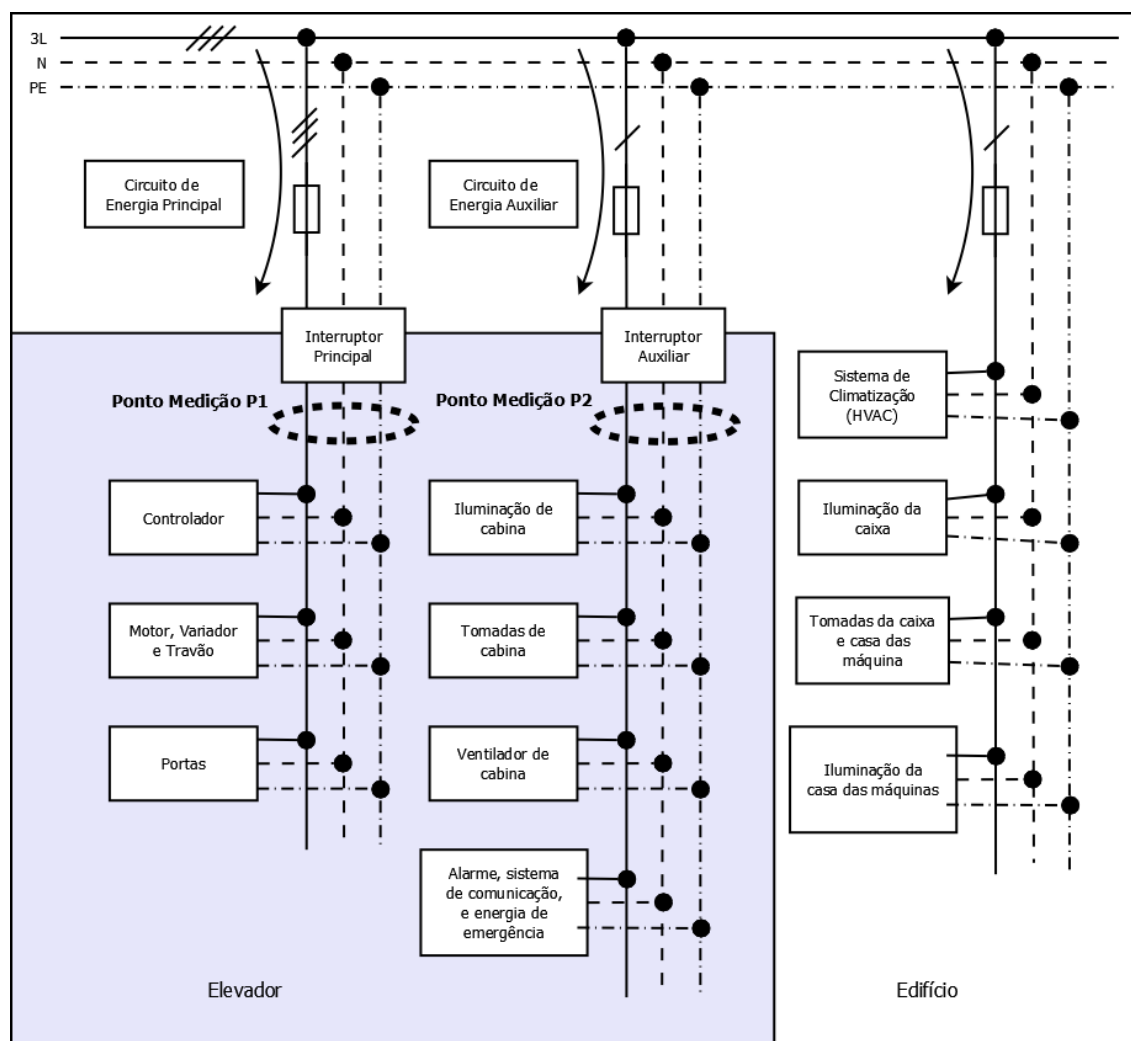


Figura 4-2 - Pontos de medição para elevadores

Esta metodologia considera as medições de energia relacionadas com o funcionamento normal do elevador, tais como:

- Energia principal – motor, conversor de frequência, controles, travões, porta, ou seja, todo o equipamento para elevar/deslocar.

- Energia auxiliar – Corrente fornecida ao equipamento principal, imprescindível à operação do elevador tais como motor, variadores de velocidade e portas.

As medições iniciam-se no primeiro patamar e consistem numa repetição de pelo menos cinco vezes do ciclo de referência. Este ciclo consiste em:

1. Abrir a porta;
2. Fechar a porta;
3. Transportar a cabine do primeiro patamar para o patamar mais elevado, com a cabine vazia;
4. Abrir a porta;
5. Fechar a porta;
6. Transportar a cabine do patamar mais elevado para o primeiro patamar, com a cabine vazia;
7. Abrir a porta;
8. Fechar a porta.

As medições do consumo de energia em standby começam 5 minutos após o último movimento da cabine e devem ter em conta os vários modos de standby possíveis.

4.3.2 Parte B – Etiqueta de Classificação de Desempenho Energético

Esta parte do Guia mostra os métodos de cálculo, a documentação da certificação, e o aspeto e informação da etiqueta energética a aplicar nos elevadores.

I. Cálculo do consumo energético em elevadores

Nesta secção é apresentado um método para estimar o consumo energético diário e anual de elevadores. Os dados podem ser adquiridos através de medições efetuadas nas instalações (Parte 1), ou através de dados fornecidos pelos fabricantes (cálculo/simulações).

I.I. Cálculo da energia de manobra por dia

I.I.I. Categoria de utilização e número de arranques por dia

A energia total utilizada por um elevador depende, para além da sua conceção, especialmente da sua utilização. Dependendo do tipo de edifício, da utilização do elevador e do número de passageiros, são definidas seis categorias de utilização que diferem entre si no número de viagens por dia.

Na Tabela 4-1 são apresentadas as seis categorias de utilização, com um número estimado de viagens por dia, bem como exemplos de elevadores que se enquadram nessas

categorias. Um número aproximado de viagens por dia pode ser obtido por observação, ou por um contador eletrônico.

Nota: O número de viagens é categorizado de modo a alcançar resultados comparáveis de avaliações energéticas que sejam levadas a cabo por diferentes entidades.

Para elevadores instalados em locais onde o tipo de padrão de tráfego e o número de viagens por dia seja bem conhecido, pode ser acordada um número específico de viagens, diferente dos números da Tabela 4-1, entre as entidades que realizem a avaliação anual de consumo de energia e classificação do elevador.

Tabela 4-1 - Categorias de uso com os números de viagens por dias

Categoria de uso	1	2	3	4	5	6
Intensidade de uso/frequência	Muito Baixo	Baixa	Média	Elevada	Muito Elevada	Extremamente Elevada
Número de viagens por dia (n_d) (intervalos típicos)	50 (< 75)	125 (75 - <200)	300 (200 - <500)	750 (500 - <1000)	1500 (1000 - <2000)	2500 (≥2000)
Tipos de edifícios e sua utilização	Edifícios residenciais até 6 habitações Pequeno edifício de escritórios com pouco movimento Estações ferroviárias suburbanas	Edifício residenciais até 20 apartamentos Pequeno edifício de escritórios e de serviços até 5 pisos Hotel de pequena dimensão Elevador de carga com pouco movimento Pequenos hotéis Parques de estacionamento Estações ferroviárias Bibliotecas Parques de diversões	Edifício residenciais até 50 apartamentos Edifício de escritórios e de serviços, de dimensão média até 10 pisos Hotéis de tamanho médio Aeroportos Universidades Pequenos hospitais Centros comerciais	Edifício residenciais com mais de 50 apartamentos Edifício de escritórios e de serviços dimensão grande com mais 10 pisos Grandes hotéis	Edifício de serviços com mais de 100 m de altura	Edifício de serviços com mais de 100 m de altura
Velocidades nominais típicas	0.63 m/s	1.00 m/s	1.60 m/s	2.50 m/s	5.00 m/s	5.00 m/s

I.I.II. Distância média de viagem

A distância média de viagem (s_m) da instalação pretendida deve ser calculada de acordo com a equação (1), sendo este valor dependente de p que deve ser seleccionado da Tabela 4-2.

$$s_m = \frac{p}{100} \cdot s_{cr} \quad (1)$$

Onde:

p é o rácio entre a distância média de viagem e a distância máxima de viagem (%);

s_{cr} é a distância de viagem de ida ou de volta de um ciclo de referência (m);

s_m é a distância média de viagem da instalação pretendida (m);

Tabela 4-2 - Rácio entre a distância média de viagem e a distância máxima de viagem

Categoria de uso	1 – 4	5	6
Número de paragens	Rácio entre a distância média de viagem e a distância máxima de viagem (p)		
2	100%		
3	67%		
>3	44%	33%	18%

I.I.III. Energia média de manobra por metro de viagem

A energia média de manobra consumida por metro de viagem deve ser determinada quando o elevador se apresenta à velocidade nominal. O respetivo valor pode ser obtido através de dois métodos distintos. O primeiro pela seguinte equação:

$$E_{mm} = \frac{1}{2} \left(\frac{E_{cr} - E_{cc}}{s_{cr} - s_{cc}} \right) \quad (2)$$

Onde:

E_{cc} é a energia de manobra consumida durante um ciclo curto (Wh);

E_{cr} é a energia de manobra consumida durante um ciclo de referência (Wh);

E_{mm} é a energia média de manobra por metro de viagem (Wh/m).

s_{cr} é a distância de viagem de ida ou de volta de um ciclo de referência (m);

s_{cc} é a distância de viagem de um ciclo curto (m);

Nota 1: A energia de manobra do ciclo curto (E_{cc}) é obtida por medição seguindo o procedimento descrito na Parte 1, mas utilizando um ciclo curto.

Nota 2: s_{cr} e s_{cc} são as distâncias de viagem num sentido em cada uma das direcções e necessitam de ser contabilizadas duas vezes para a distância de manobra para um ciclo completo.

O segundo método foi adicionado à metodologia original após se verificar as dificuldades de aplicação do primeiro método, e utiliza-se a equação (3):

$$E_{mm} = \frac{E_{rp}}{S_{rp}} \quad (3)$$

Onde:

E_{mm} é a energia média de manobra por metro de viagem (Wh/m);

E_{rp} é a energia de manobra consumida em regime permanente (Wh);

S_{rp} é a distância de viagem em regime permanente (m);

Nota: Através da análise dos dados obtidos durante as medições obtém-se o gráfico de um ciclo de referência. Nesse mesmo gráfico é possível retirar o tempo (s) em que o elevador se encontra à velocidade nominal, velocidade essa fornecida pelas características do elevador.

Deste modo é possível determinar a distância (m) percorrida pelo elevador nesse mesmo intervalo de tempo através da equação:

$$S_{rp} = V_n \cdot t_{rp} \quad (4)$$

Em que:

V_n é a Velocidade Nominal (m/s);

t_{rp} é o tempo (s) que se encontra em regime permanente;

Determinando a Energia (E_{rp}) nesse mesmo intervalo de tempo obtemos todos os dados para substituir na equação (3) referenciada anteriormente.

I.I.IV. Energia consumida durante arranque/paragem

A energia consumida durante arranque/paragem é estimada a partir da energia consumida para acelerar o elevador até a velocidade nominal, desacelerar o elevador desde a velocidade nominal até o ponto de chegada, para abrir e fechar as portas, e a energia utilizada enquanto o elevador se apresenta nos terminais em modo inativo, aguardando início de percurso ou em possível modo standby.

A energia consumida durante arranque/paragem de uma viagem de ida ou de volta é obtida através da equação (5).

$$E_{ap} = \frac{1}{2}(E_{cr} - 2 \cdot E_{mm} \cdot s_{cr}) \quad (5)$$

Onde:

E_{ap} é a energia consumida durante arranque/paragem do elevador (Wh);

E_{cr} é a energia de manobra consumida durante um ciclo de referência (Wh);

E_{mm} é a energia média de manobra por metro de viagem (Wh/m);

s_{cr} é a distância de viagem de ida ou de volta de um ciclo de referência (m).

I.I.V. Energia de manobra consumida durante um ciclo médio

A energia de manobra consumida por ciclo médio, é estimada de acordo com a equação (6).

$$E_{cm} = 2 \cdot E_{mm} \cdot s_m + 2 \cdot E_{ap} \quad (6)$$

Onde:

E_{ap} é a energia consumida durante arranque/paragem do elevador (Wh);

E_{cm} é a energia de manobra consumida por ciclo médio (Wh);

E_{mm} é a energia média de manobra por metro de viagem (Wh/m);

s_m é a distância média de viagem da instalação pretendida (m).

Caso o número de paragens não permitir medições durante um ciclo curto, ou não seja possível obter a energia em regime permanente, a energia consumida de manobra por ciclo médio, deverá ser estimada pela seguinte equação:

$$E_{cm} = E_{cr} \cdot \frac{s_m}{s_{cr}} \quad (7)$$

Onde:

E_{cm} é a energia de manobra consumida por ciclo médio (Wh);

E_{cr} é a energia de manobra consumida durante um ciclo de referência (Wh);

s_{cr} é a distância de viagem de ida ou de volta de um ciclo de referência (m);

s_m é a distância média de viagem da instalação pretendida (m).

I.I.VI. Energia de manobra consumida por dia

A energia de manobra consumida por dia é obtida pela equação (8).

$$E_{md} = \frac{k_L \cdot n_d \cdot E_{cm}}{2} \quad (8)$$

Onde:

E_{cm} é a energia de manobra consumida por ciclo médio (Wh);

E_{md} é a energia de manobra consumida por dia (Wh);

n_d é o número de arranques/viagens por dia, de acordo com a categoria de uso retirado da Tabela 4-1;

k_L é o fator de carga.

O fator de carga (k_L) pode ser calculado pela utilização das equações descritas abaixo, tendo em conta o valor da percentagem da carga nominal do elevador (%Q) presente na Tabela 4-3.

Para elevadores de tração contrabalançados em 50%:

$$k_L = 1 - (\%Q \cdot 0.0164)$$

Para elevadores de tração contrabalançados em 40%:

$$k_L = 1 - (\%Q \cdot 0.0192)$$

Para elevadores de hidráulicos sem equilíbrio:

$$k_L = 1 + (\%Q \cdot 0.0071)$$

Para elevadores de hidráulicos com 35% em contrabalanço do elevador:

$$k_L = 1 + (\%Q \cdot 0.0100)$$

Para elevadores de hidráulicos com 70% em contrabalanço do elevador:

$$k_L = 1 + (\%Q \cdot 0.0187)$$

Tabela 4-3 - Percentagem da carga nominal (Q)

Categoria de uso	1-3	4	5	6
Carga nominal (kg)	Percentagem da carga nominal (Q)			
≤ 800	7.5%	9.0%	16.0%	23.0%
$800 - \leq 1275$	5.5%	6.0%	11.0%	18.5%
$1276 - \leq 2000$	3.0%	3.5%	7.0%	13.0%
> 2000	2.0%	2.2%	4.5%	9.0%

I.II. Cálculo da energia por dia em modo Inativo/Standby

I.II.I. Tempo de manobra por dia

O tempo total de manobra por dia pode ser estimado através do tempo necessário para percorrer a distância média de viagem da instalação pretendida (equação (9)).

$$t_{mv} = \frac{s_m}{v} + \frac{v_n}{a} + \frac{a}{j} + t_p \quad (9)$$

Onde:

t_{mv} é o tempo para percorrer a distância média de viagem, incluindo abertura e fecho de portas (s);

v_n é a velocidade nominal (m/s);

a é a aceleração média (m/s²);

j é a taxa de variação da aceleração (m/s³);

t_p é o tempo de abertura, e fecho de portas do elevador, incluindo o tempo de portas abertas (s).

s_m é a distância média de viagem da instalação pretendida (m).

O tempo total de manobra por dia é obtido pela seguinte equação:

$$t_{md} = n_d \cdot \frac{t_{mv}}{3600} \quad (10)$$

Onde:

t_{md} é o tempo de manobra por dia (h);

t_{mv} é o tempo para percorrer a distância média de viagem, incluindo abertura e fecho de portas (s);

n_d é o número de arranques/viagens por dia.

I.II.II. Tempo por dia em modo inativo/standby

Para calcular a energia por dia em modo inativo/standby é necessário obter o tempo por dia para o qual o elevador não realiza manobra. O tempo, por dia, quando o elevador não realiza manobra é o tempo em que o elevador está inativo num terminal: com as portas abertas onde os passageiros entram e saem do elevador, ou com as portas fechadas em modo inativo ou de standby. O tempo por dia em modo inativo/standby pode ser calculado a partir da seguinte equação:

$$t_{ist} = 24 - t_{md} \quad (11)$$

Onde:

t_{ist} é o tempo por dia em modo inativo/standby (h).

t_{md} é o tempo de manobra por dia (h);

Nas situações em que o elevador é completamente desconectado da alimentação, deverá ser determinado o tempo de “não-funcionamento”.

I.II.III. Rácios do tempo em modo inativo/standby

A energia consumida por dia em modo inativo/standby abrange três componentes: o tempo em que o elevador se apresenta inativo e antes dos 5 minutos standby; o tempo entre os 5 minutos e os 30 minutos em modo standby, e caso ocorra, o tempo depois dos 30 minutos.

A percentagem de tempo gasto por dia em que o elevador se apresenta em modo inativo/standby deve ser retirada da Tabela 4-4. Em casos específicos, esta percentagem deve ser determinada a partir de simulações de tráfego.

Tabela 4-4 - Percentagem de tempo em modo inativo/*standby*

Categoria de uso		1	2	3	4	5 – 6
Percentagem de tempo em modo inativo e <i>standby</i> (%)	R_i	13	23	36	45	42
	R_{st5}	55	45	31	19	17
	R_{st30}	32	32	33	36	41

1.II.IV. Energia consumida por dia em modo inativo/*standby*

A energia consumida por dia em modo inativo/*standby* é obtida como se segue:

$$E_{ist} = \frac{t_{ist}}{100} \cdot (P_i \cdot R_i + P_{st5} \cdot R_{st5} + P_{st30} \cdot R_{st30}) \quad (12)$$

Onde,

P_i é a potência utilizada em modo inativo (W);

P_{st5} é a potência utilizada em modo *standby* após 5 minutos (W);

P_{st30} é a potência utilizada em modo *standby* após 30 minutos (W);

R_i é a percentagem do tempo em modo inativo P_i (%);

R_{st5} é a percentagem de tempo de P_{st5} (%);

R_{st30} é a percentagem de tempo de P_{st30} (%);

E_{ist} é a energia consumida por dia em modo inativo/*standby* (Wh).

I.III. Energia total consumida por dia

O valor da energia total consumida por dia é estimada pela seguinte equação:

$$E_d = E_{ist} + E_{md} \quad (13)$$

Onde:

E_{ist} é a energia consumida por dia em modo inativo/*standby* (Wh);

E_{md} é a energia de manobra consumida por dia (Wh);

E_d é a energia total consumida por dia (Wh).

I.IV. Energia total consumida por ano

A energia total consumida por ano é simplesmente estimada pela multiplicação do número de dias de manobra do elevador num ano pelo valor da energia total consumida por dia.

$$E_a = E_d \cdot d_a \quad (14)$$

Onde:

d_a é o número de dias de funcionamento do elevador por ano;

E_d é a energia total consumida por dia (Wh);

E_a é a energia total consumida por ano (Wh);

Nota: Se o elevador for desligado em certos dias (por exemplo, fins-de-semana e feriados) o número de dias por ano deverá ser reduzido nesse número de dias.

II. Classificação da eficiência energética em elevadores

II.I. Disposições gerais

Esta secção descreve uma metodologia para a classificação de um dado elevador. Esta metodologia pode ser aplicada a novos elevadores e a elevadores em serviço. Também pode ser utilizada para a reclassificação de um elevador após a sua modernização.

Os valores necessários à aplicação desta metodologia foram obtidos durante as medições e os cálculos, e fornecidos pelos fabricantes para um dado modelo de elevador.

II.II. Classificação do desempenho energético do elevador

A classe de eficiência energética é obtida pela comparação da energia total consumida por dia (secção I.III) com os limites calculados de acordo com a Tabela 4-5.

O número de viagens por dia (n_d) é obtido através da Tabela 4-1, de acordo com a categoria de uso em que se encontra o elevador.

Tabela 4-5 - Nível de desempenho energético do elevador

Classes de eficiência energética	Energia (Wh)
A	$E_d \leq 0.72 \cdot Q \cdot n_d \cdot \frac{S_m}{1000} + 50 \cdot t_{ist}$
B	$E_d \leq 1.08 \cdot Q \cdot n_d \cdot \frac{S_m}{1000} + 100 \cdot t_{ist}$
C	$E_d \leq 1.62 \cdot Q \cdot n_d \cdot \frac{S_m}{1000} + 200 \cdot t_{ist}$
D	$E_d \leq 2.43 \cdot Q \cdot n_d \cdot \frac{S_m}{1000} + 400 \cdot t_{ist}$
E	$E_d \leq 3.65 \cdot Q \cdot n_d \cdot \frac{S_m}{1000} + 800 \cdot t_{ist}$
F	$E_d \leq 5.47 \cdot Q \cdot n_d \cdot \frac{S_m}{1000} + 1600 \cdot t_{ist}$
G	$E_d > 5.47 \cdot Q \cdot n_d \cdot \frac{S_m}{1000} + 1600 \cdot t_{ist}$

II.III. Classificação energética de manobra

A energia específica de manobra para o ciclo médio é obtida pela equação (15):

$$E_{spc} = \frac{1000 \cdot k_L \cdot E_{cm}}{2 \cdot Q \cdot S_m} \quad (15)$$

Onde:

E_{cm} é a energia de manobra consumida durante um ciclo médio (Wh);

E_{spc} é a energia específica de manobra para o ciclo curto (mWh/kg.m);

k_L é o factor de carga;

Q é a carga nominal (kg);

s_{mv} é a distância média de viagem da instalação pretendida (m).

De acordo com a Tabela 4-6 e o respetivo valor obtido pela equação 15, é possível estabelecer um nível de desempenho em manobra.

Tabela 4-6 - Classificação energética em manobra

Energia específica de manobra (mWh/kgm)	≤ 0,72	≤ 1,08	≤ 1,62	≤ 2,43	≤ 3,65	≤ 5,47	> 5,47
Classificação energética	A	B	C	D	E	F	G

II.IV. Classificação energética em modo inativo/standby

A partir dos valores obtidos da potência em modo inativo ou em modo standby é possível estabelecer um nível de desempenho de acordo com a Tabela 4-7.

Deve usar-se o menor valor da potência, i.e., caso não se tenha verificado a potência em modo standby, a classificação reflete-se sobre a potência em modo inativo. Com a verificação da potência em modo standby, a classificação reflete a potência em modo standby e não a potência em modo inativo.

Tabela 4-7 - Classificação energética em modo inativo/standby

Potência em modo inativo/standby (W)	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	≤ 1600	> 1600
Classificação energética	A	B	C	D	E	F	G

II.V. Energia específica de manobra para o ciclo de referência

O cálculo da energia específica de manobra para o ciclo de referência permite obter um valor de energia para o edifício onde o elevador está instalado e com esse valor, realizar comparações com outros tipos de elevador que possam ser especificados para esse edifício.

O valor é estimado pela seguinte equação:

$$E_{spr} = \frac{1000 \cdot E_{cr}}{2 \cdot Q \cdot s_{cr}} \quad (16)$$

Onde:

E_{cr} é a energia de manobra consumida durante um ciclo de referência (Wh);

E_{spr} é a energia específica de manobra para o ciclo de referência (mWh/kg·m);

Q é a carga nominal (kg);

s_{cr} é a distância de viagem de ida ou de volta de um ciclo de referência (m).

5 ESTUDO DE CASO E RESULTADOS OBTIDOS

5.1 Introdução

Para a execução do estudo era necessário realizar auditorias em pelo menos 5 elevadores em uso. As auditorias para medição dos consumos energéticos têm um papel relevante em elevadores uma vez que permitem:

- Compreender o consumo energético de uma instalação específica;
- Comparar o consumo energético de dois elevadores com diferentes tecnologias;
- Prever o consumo energético de um elevador baseado em vários parâmetros (ex: tipo de acionamento, caixa de velocidades, capacidade, velocidade, distância de viagem, etc.).

Estes aspetos têm aplicações importantes em termos de configuração de novos elevadores e de previsão das variações do consumo energético precedidos à modernização, tornando as auditorias um tema fulcral para a evolução de tecnologias e melhoria na eficiência energética em elevadores.

O primeiro elevador a ser auditado foi no Departamento de Engenharia Eletrotécnica da FCTUC, na torre T. Seguidamente optou-se por entrar em contacto com a ThyssenKrupp Coimbra para que fosse possível cederem os seus técnicos e equipamentos de forma a realizar as auditorias aos seus elevadores. Obtivemos resposta positiva e mais duas auditorias foram levadas a cabo, uma nos Serviços Académicos da FCTUC e outra no edifício da EDP Coimbra. Por fim a ADENE, em colaboração com a Câmara Municipal de Lisboa e a Schindler Lisboa, se prontificou a disponibilizar dois elevadores num dos edifícios de serviço da Câmara de Lisboa.

Durante as medições foram recolhidas informações sobre as características de cada elevador e do edifício em que o elevador está instalado, informações essas disponibilizadas pelos técnicos de manutenção de cada elevador. Essas informações são necessárias para aplicar a metodologia do Capítulo 4.

Após realizadas todas as auditorias procedeu-se á análise dos dados recolhidos e ao cálculo dos valores em falta para a obtenção da classificação da eficiência energética de cada elevador.

Com este estudo pode-se constatar o potencial envolvido na eficiência energética nos elevadores, isto comparando tecnologia menos eficiente com a mais eficiente. Numa abordagem

inicial deparou-se com soluções de iluminação das cabinas dos elevadores muito ineficientes e, em alguns casos sobredimensionadas, levando a gastos energéticos desnecessários.

5.2 Auditoria a um elevador e análise dos dados

Uma vez que o processo utilizado para as auditorias é o mesmo para todos os elevadores, assim como a análise de dados, vai-se demonstrar o estudo de apenas um dos elevadores auditados, encontrando-se os restantes no Anexo B. O elevador escolhido foi um dos elevadores de Lisboa.

Como referido anteriormente, durante a auditoria são recolhidas informações sobre características do elevador e do edifício, características essas presentes na Tabela 5-1:

Tabela 5-1 - Informações gerais do elevador e equipamento de medida

Descrição	Especificações
Categoria do edifício	Serviços
Local	Lisboa
Número de pisos	14
Marca do equipamento	Schindler
Tecnologia (tração com redutor, tração sem redutor ou hidráulico)	Tração com redutor
Tecnologia (Eletromecânico ou Eletrónico)	Eletrónico
Carga Nominal [Kg]	630
Potência Nominal do Motor [kW]	-
Velocidade Nominal [m/s]	1,6
Aceleração [m/s²]	0.5
Variação de Velocidade (Jerk) [m/s³]	1
Altura máxima de viagem [m]	45
Contrabalanço [%]	50
Marca do Equipamento de Medida	HIOKI
Modelo do Equipamento de Medida	Clamp On Power HiTest 3169-20
Tempo de Intervalo das Medidas [s]	0,1

Após a auditoria, realizada seguindo os passos do procedimento da Parte A da metodologia descrita no Capítulo 4.3, procedeu-se à análise dos dados:

Dados a obter através das auditorias:

- Energia ciclo de referência (E_{cr})
- Tempo de ciclo
- Energia regime permanente (E_{rp})
- Tempo regime permanente (t_{rp})
- Potência em modo inativo (P_i)
- Potência em standby 5 minutos (P_{stb5})
- Potência em standby 30 minutos (P_{stb30})
- Tempo de porta (t_p)

Selecionou-se um ciclo de referência para uma melhor percepção da evolução da potência ativa ao longo do percurso efetuado, e para facilitar a obtenção dos valores necessários para o cálculo dos dados mencionados anteriormente. Obteve-se o seguinte gráfico:

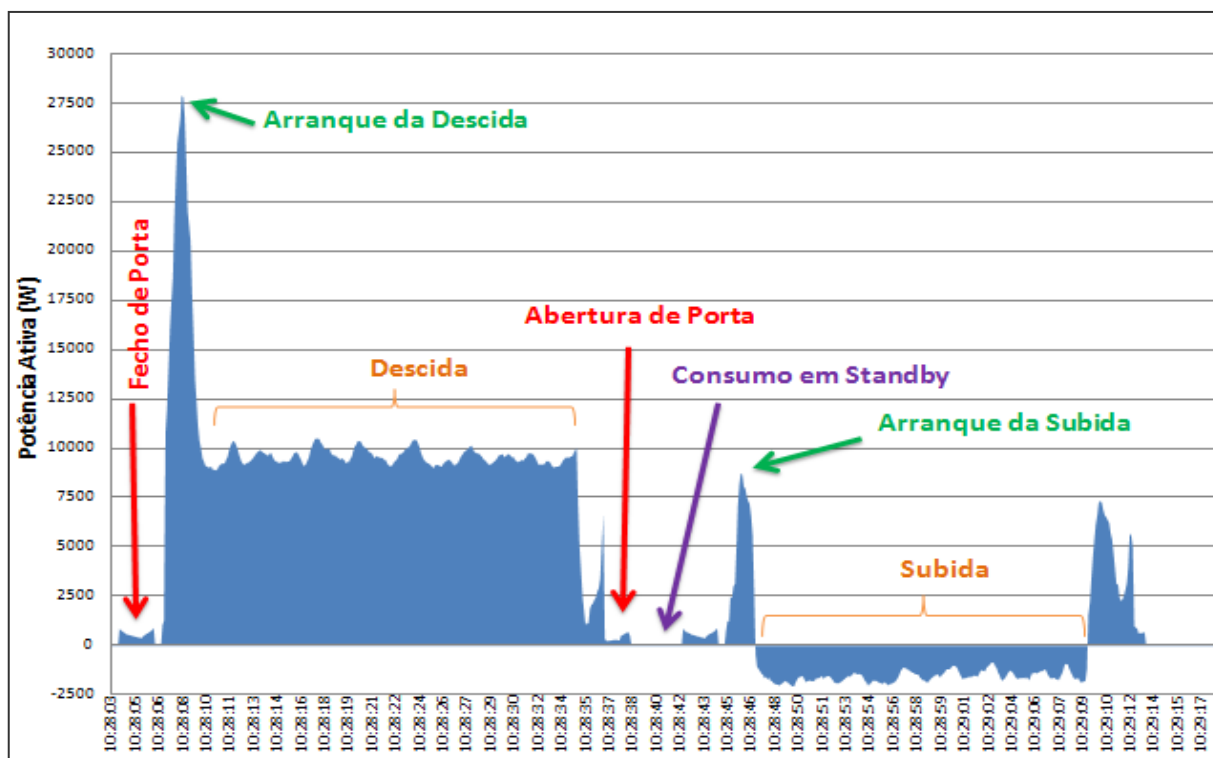


Figura 5-1 - Potência ativa ao longo de uma descida e subida sem carga – ciclo de referência

Cálculo da energia utilizada no elevador:

- Energia consumida num ciclo de referência:

$$E_{ciclo} = \frac{1}{3600} * \frac{A}{2} * \sum_{t=0}^{t=n-1} (P_t + P_{t+1}) = \frac{1}{3600} * \frac{0,1}{2} * 5843585,73 = 81,16 \text{ Wh}$$

O tempo de ciclo é facilmente retirado da Figura 5-1, sendo igual a 74 segundos.

- Energia consumida em regime permanente:

Utiliza-se a mesma fórmula usada para calcular a energia consumida para o ciclo de referência mas desta vez apenas para os intervalos de tempo em que o elevador se encontra à velocidade nominal, ou seja, com potência ativa constante.

$$E_{regime\ permanente} = \frac{1}{3600} * \frac{0,1}{2} * (4812439,23 + (-667925,92)) = 57,56 \text{ Wh}$$

O tempo que se encontra em regime permanente é de 25s+21s = 46 segundos.

- Energia consumida durante o standby:

Tanto neste elevador como em todos os auditados, não existe diferenciação entre o modo inativo, standby 5 minutos e standby 30 minutos, pelo que o valor para estas 3 componentes será o mesmo.

Para o cálculo da energia consumida durante o standby utilizou-se a ferramenta Excel e fez-se a média da potência consumida durante o funcionamento apontado na Figura 5-1, somando a esse valor a potência consumida pela iluminação, uma vez que neste caso teve de ser medida à parte e não consta no gráfico.

Assim sendo,

$$E_{standby} = P_{méd} + P_{iluminação} = 62,12W + 137,83W = 199,95W$$

- Tempo de porta:

É facilmente retirado pela análise do Figura 5-1 e é igual a 7 segundos.

Para completar a recolha dos dados basta ir às tabelas apresentadas anteriormente na secção I da Parte B do Capítulo 4.3 e retirar os seguintes valores:

- Categoria de uso: 3
- Número de viagens por dia: 300
- Rácio entre a distância média de viagem e a distância máxima de viagem: 44%
- Percentagem da carga nominal: 7,5%
- Fator de carga: 0.877
- Percentagem de tempo inativo: 36
- Percentagem de tempo standby 5 minutos: 31

- Percentagem de tempo Standby 30 minutos: 33

Recolhidos todos os dados pode-se passar para a obtenção da classificação da eficiência energética do elevador, utilizando para isso a metodologia descrita secção II na Parte B do Capítulo 4.3. Uma vez que a metodologia apresenta diversas fórmulas e cálculos, criou-se uma folha Excel onde basta introduzir os dados recolhidos durante e após as auditorias para se obter o resultado final e através desse resultado ser emitida a respetiva Etiqueta Energética. Essa folha encontra-se presente no Anexo A, juntamente com a respetiva etiqueta.

5.3 Conclusões das auditorias

A fim de aprimorar as conclusões finais após as auditorias foi decidido fazer o estudo a mais dois elevadores que já tinham sido auditados anteriormente durante o projeto E4 e que possuem diferentes tecnologias. É possível encontrar esse estudo no anexo B, juntamente com os outros 4 elevadores que foram auditados.

Seguidamente serão apresentados gráficos onde podemos ver a energia que cada elevador consome por ano, a classificação energética de manobra, a classificação energética inativa/standby, e por fim a classificação do desempenho energético de cada elevador que irá constar na Etiqueta a ser emitida.

Para uma fácil identificação atribuiu-se um número a cada elevador:

- Elevador 1: Primeiro Elevador de Lisboa – Tecnologia: Tração com redutor
- Elevador 2: Segundo Elevador de Lisboa – Tecnologia: Tração com redutor
- Elevador 3: Hotel Palacio, Porto (elevador acrescentado ao estudo) – Tecnologia: Tração sem redutor com motor de ímanes permanentes e com VSD
- Elevador 4: Hotel Palacio, Porto (elevador acrescentado ao estudo) – Tecnologia: Tração com redutor
- Elevador 5: Elevador do DEEC, Coimbra – Tecnologia: Tração com redutor + VSD
- Elevador 6: Elevador Thyssenkrupp, EDP Coimbra – Tecnologia: Tração com redutor + VSD
- Elevador 7: FCTUC Serviços Académicos, Coimbra – Tecnologia: Hidráulico

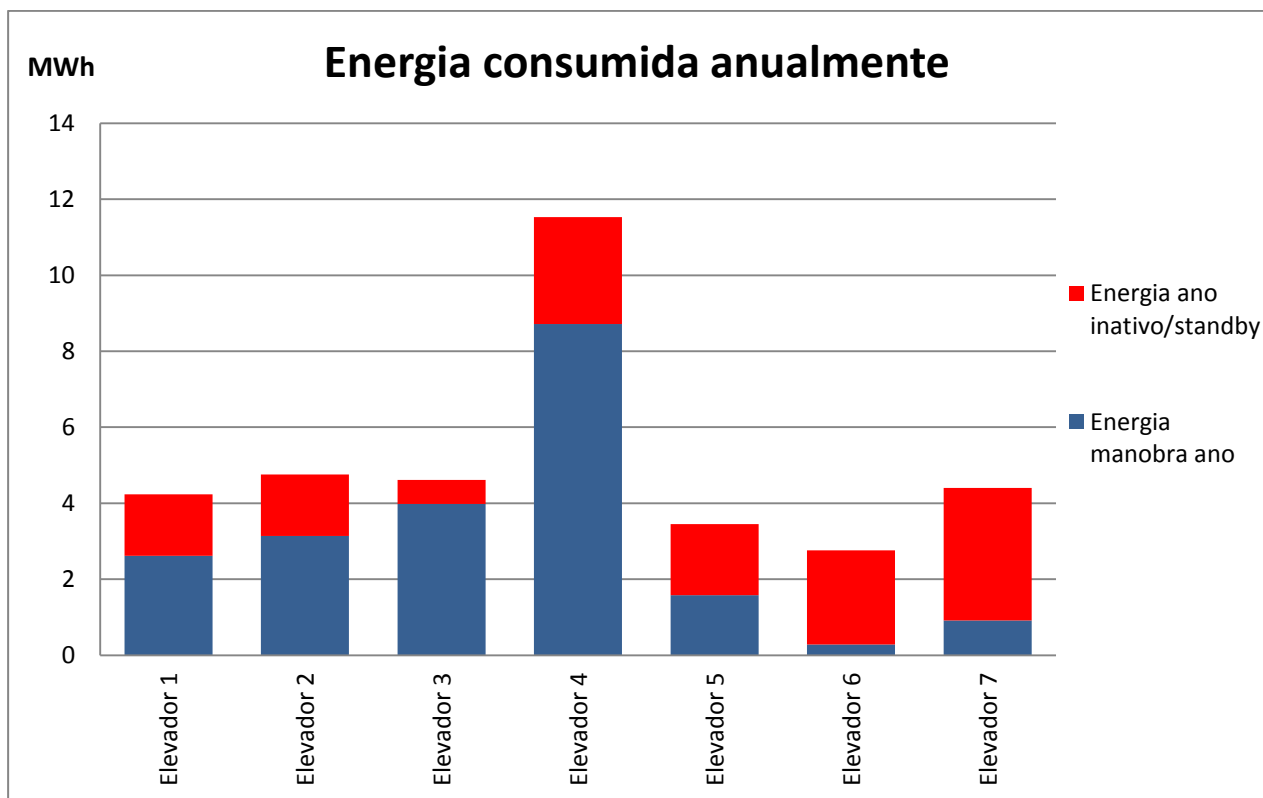


Figura 5-2 - Estimativa da energia consumida anualmente por cada elevador

Analisando a Figura 5-2 observa-se que o elevador que consome mais energia anualmente é o elevador 4, atingindo cerca de 11,5 MWh/ano. Trata-se de um consumo bastante elevado em comparação com os restantes elevadores. Este elevado consumo é explicável uma vez que são 18 pisos e a sua tecnologia é apenas de tração com redutor. Se for comparado com o elevador 3, que também é um elevador com um elevado número de pisos (22) mas que apresenta uma tecnologia muito mais eficiente, facilmente se percebe a importância e as diferenças no consumo quando novas tecnologias estão presentes. Ambos os elevadores estão na mesma categoria de uso.

O elevador hidráulico, ou seja o elevador 7, sendo o elevador que apresenta menor tráfego e menor número de pisos em comparação com todos os outros consegue apresentar um consumo anual igual ou mesmo superior, o que demonstra que é sem dúvida a tecnologia menos eficiente.

O consumo total dos elevadores em estudo é de aproximadamente 35,7 MWh/ano, sendo 21,2 MWh/ano e 14,5 MWh/ano a divisão entre o modo de funcionamento e o modo em standby, respetivamente.

Facilmente se conclui que o consumo em standby nos elevadores é um problema importante. Nos elevadores auditados, a potência em standby varia entre 90 W a 450 W e pode representar 41% do consumo anual.

É importante referir que os padrões de utilização têm um peso importantíssimo na relação entre o consumo de energia em standby e funcionamento. Quanto maior for o número de viagens por ano, maior será a contribuição do consumo em funcionamento para o consumo total de energia da instalação.

A energia específica de manobra para o ciclo médio depende fortemente do número de andares, da carga nominal e da tecnologia usada. A Figura 5-3 reflete isso mesmo, uma vez que o elevador hidráulico, apresenta a classificação mais negativa possível, enquanto que o elevador 3, que apresenta tecnologia mais eficiente, se encontra na categoria “A”.

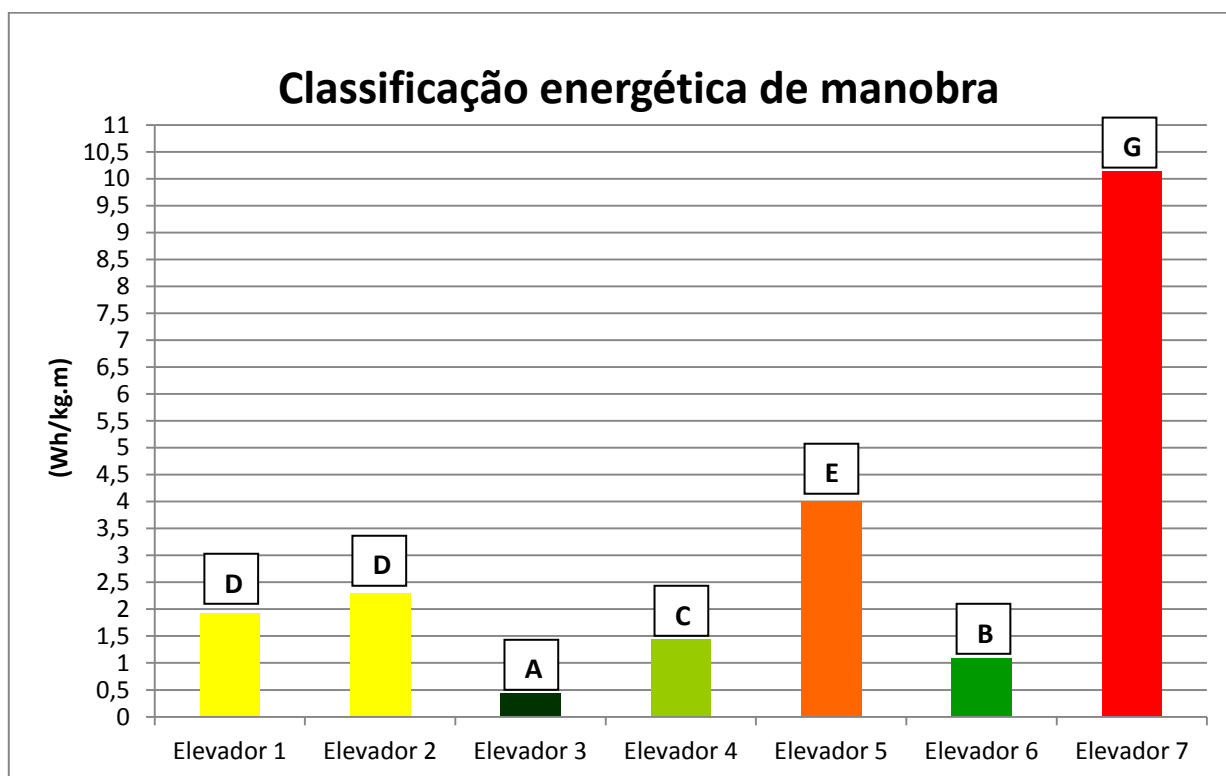


Figura 5-3 - Classificação energética de manobra de cada elevador

Relativamente à classificação energética inativa/standby, através da Figura 5-4 pode-se observar que nenhum dos elevadores é altamente eficiente, sendo a grande maioria de categoria igual ou inferior a “D”.

Isto é facilmente explicável uma vez que durante as auditorias se constatou que a iluminação da cabine de todos os elevadores se encontra permanentemente ligada, ou seja são 24h por dia constantemente a consumir energia. Este problema pode ser facilmente resolvido caso as luzes da cabine se desligassem ao fim de alguns segundos após o fim do ciclo.

Outro aspeto muito importante que foi possível observar foi que a iluminação das cabinas era feita por lâmpadas fluorescentes ou outras de elevado consumo e nenhum caso apresentava lâmpadas LED, que para além de poderem facilmente fazer “*dimming*”, isto é reduzir a intensidade luminosa reduzindo a potência de consumo., têm consumos bastantes reduzidos e um tempo de vida útil que a nível comercial atinge as 35000 horas, não tendo comparação com qualquer outra tecnologia eficiente.

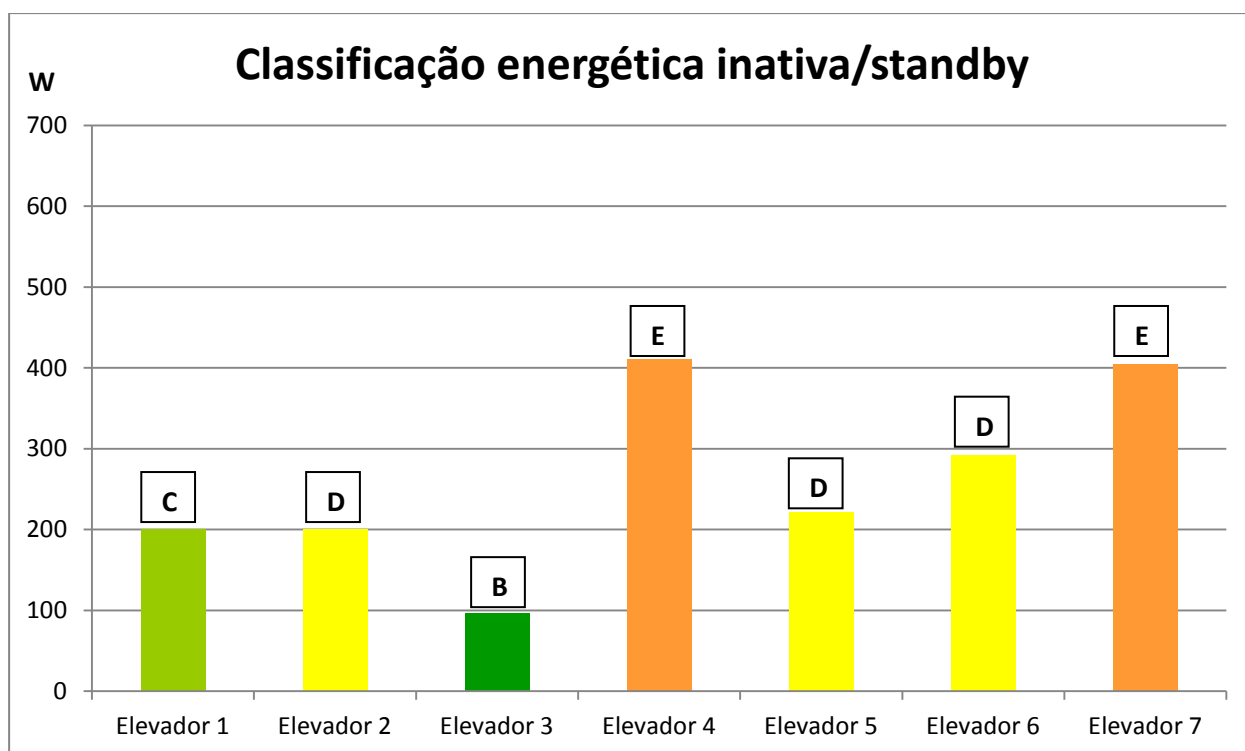


Figura 5-4 - Classificação energética inativa/standby de cada elevador

Visualizando a Figura 5-5 é facilmente visível que apenas um dos elevadores é altamente eficiente, uma vez que se encontra na categoria mais elevada, a “A”, demonstrando que as tecnologias mais eficientes como os motores de ímãs permanentes e os VSDs fazem de facto toda a diferença e um investimento nestas tecnologias é uma mais-valia pois permitem uma redução do consumo energético. Os restantes são muito menos eficientes, sendo a categoria “D” a mais comum. O elevador hidráulico revelou-se o menos eficiente acabando na categoria “E”. Um aspeto importante de retirar é que apesar de o elevador 4 ser o que apresenta um maior consumo de energia por ano é o segundo elevador mais eficiente, logo estes dois aspetos não estão obrigatoriamente ligados.

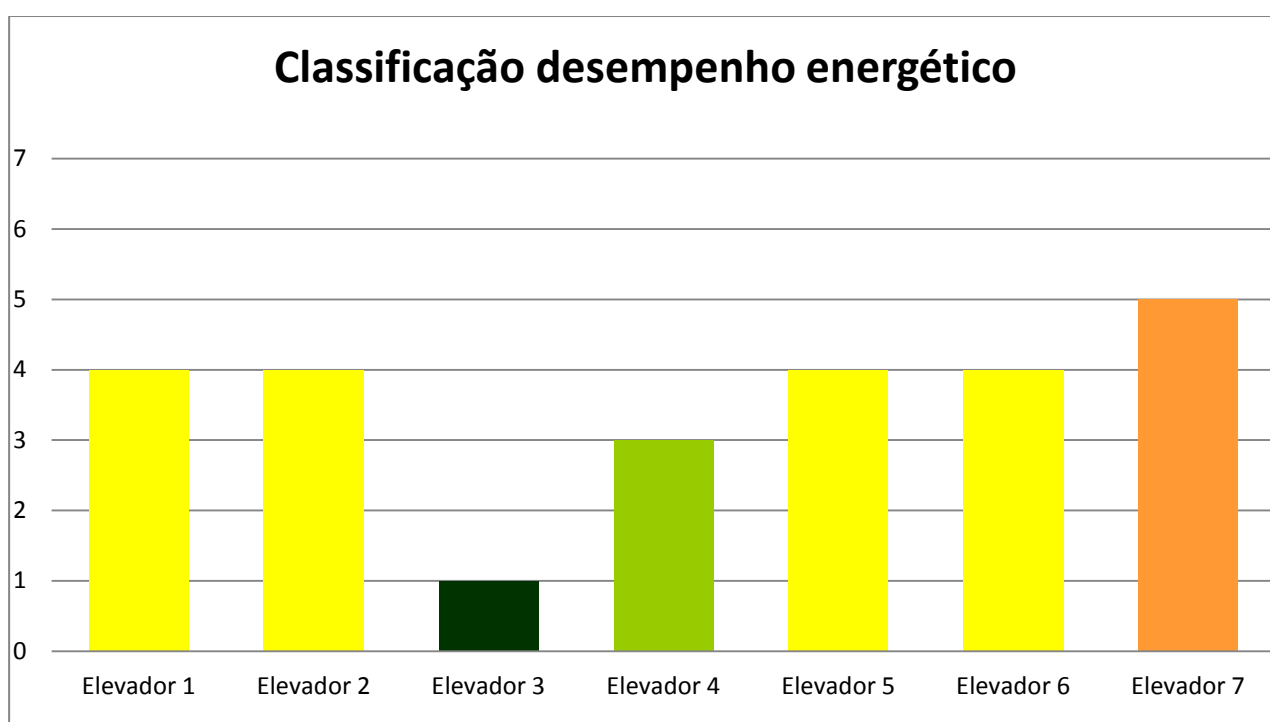


Figura 5-5 - Classificação de desempenho energético (manobra mais standby) de cada elevador

Cada cor representa uma categoria, assim como cada número do eixo vertical do último gráfico, de acordo com a seguinte descrição:

Categoria A	1
Categoria B	2
Categoria C	3
Categoria D	4
Categoria E	5
Categoria F	6
Categoria G	7

Para concluir realizou-se um pequeno estudo para o caso de um dos elevadores com pior classificação sofrer melhorias na tecnologia de tal modo que lhe fosse possível subir de classe.

O elevador escolhido foi o elevador 2, que se apresenta na classe “D” com um consumo anual em modo de funcionamento de cerca de 3,1 MWh e em modo standby de 1,6 MWh.

Caso este elevador passasse para a classe “C” passaria a consumir em modo de funcionamento aproximadamente 2,5 MWh, ou seja, uma diferença de quase 0,6 MWh. Em modo standby passaria a consumir 1,2 MWh, sendo a diferença de 0,4 MWh. A poupança total seria perto de 1 MWh.

Multiplicando pelo preço a que se encontra a energia, visto anteriormente, esta diferença de consumo significaria uma poupança monetária de aproximadamente 150€ por ano.

Realizando o mesmo estudo mas desta vez para o caso em que o elevador passasse para a classe “A”, em modo de funcionamento consumiria 1,1 MWh e em modo standby 0,4 MWh. Para este caso o total de poupanças seria de 3,2 MWh representando um ganho económico de 480€ por ano.

6 IMPACTO DA APLICAÇÃO DAS ETIQUETAS NOS ELEVADORES

De forma a estimar as poupanças no consumo de energia que a introdução das etiquetas energéticas poderia representar em Portugal, foi elaborado o seguinte estudo:

Através dos dados de mercado recolhidos pela ANIEER durante o projeto europeu “*E4-Energy Efficient Elevators and Escalators*”, levado a cabo pelo ISR da Universidade de Coimbra, foi possível elaborar a Tabela 6-1, que representa o número total de elevadores em Portugal, cerca de 140 mil, divididos pelos tipos de edifícios e pela sua tecnologia. O objetivo seria de que todos os elevadores apresentassem uma classe igual ou superior a “C”, de acordo com a nova legislação em vigor a “DL 118/2013 – Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços”. Esta legislação implica que a partir do dia 1 de janeiro de 2016, os elevadores a instalar em edifícios de comércio e serviços deverão obedecer a requisitos mínimos de eficiência, sendo a classe de eficiência energética mínima a classe “C”. Uma vez que é de todo impossível realizar auditorias a todos os elevadores de maneira a obter a sua classe de eficiência foi optado por atribuir a cada tipo de tecnologia uma classe. Deste modo assumiu-se que todos os elevadores da tecnologia tração sem redutor apresentam classe “B”, pois são os mais desenvolvidos tecnologicamente, ou seja, já se encontram dentro do estipulado pela lei pelo que não necessitam de alterações na classe. Os elevadores da tecnologia tração com redutor, com e sem VSD, encontram-se na classe “D” e “E”, respetivamente. Os hidráulicos, menos desenvolvidos e menos eficientes, encontram-se na última classe, a classe “G”. Utilizando a equação 8 e 15 e a Tabela 4-6 do capítulo 4 é possível obter a poupança da energia de manobra consumida por dia caso todos estes elevadores passassem a pertencer à classe “C”.

Equação 8 e 15 e Tabela 4-6 do capítulo 4:

$$E_{md} = \frac{k_L \cdot n_d \cdot E_{cm}}{2} \quad (8)$$

$$E_{spc} = \frac{1000 \cdot k_L \cdot E_{cm}}{2 \cdot Q \cdot S_m} \quad (15)$$

Energia específica de manobra (mWh/kgm)	≤ 0,72	≤ 1,08	≤ 1,62	≤ 2,43	≤ 3,65	≤ 5,47	> 5,47
Classificação energética	A	B	C	D	E	F	G

Tabela 6-1 - Número total de elevadores em Portugal, divididos pelas suas características

Tipo de Edifício	Unidades	Idade (Década da instalação)	Tecnologia		Características Básicas				Nº de Viagens por ano	Potência Nominal (kw)
			Electro Mecânico / electrónico	Com Redutor / Sem Redutor / Hidráulico	Carga (kg)	Velocidade (m/s)	Nº de Pisos	Distância de Viagem (m)		
Residencial	5.000	80/90	E	Hidráulico	320	0,63	4	10	30.000	7,7
	2.500	80/90	E		450	0,63	4	10	30.000	9,5
	68.000	70/80/90	E	Com Redutor	320	0,63	5	12	60.000	4,0
	12.000	70/80/90	E		450	1,00	5	12	60.000	5,0
	7.500	00	e	Sem Redutor	450	1,00	5	12	70.000	3,0
	2.500	00	e		630	1,00	6	15	70.000	4,0
97.500										
Serviços	2.000	80/90	E	Hidráulico	450	0,63	2	6	50.000	9,5
	1.000	80/90/00	E		630	0,63	2	6	50.000	12,5
	10.000	80/90	E	Com Redutor	630	1,00	8	21	220.000	6,0
	4.000	80/90	E		800	1,00	8	21	220.000	8,0
	2.000	90/00	e		1000	1,00	8	21	220.000	10,0
	1.000	00	e	Sem Redutor	630	1,00	10	30	250.000	4,0
	500	00	e		800	1,60	15	42	360.000	8,5
500	00	e	1000		1,60	15	42	360.000	11,0	
21.000										
Hospital	500	80/90	E	Hidráulico	1000	0,40	2	6	40.000	11,0
	1.500	90/00	E		800	1,00	8	21	360.000	8,0
	3.000	90/00	E	Com Redutor	1000	1,00	8	21	360.000	10,0
	400	90/00	e		1600	1,00	8	21	360.000	14,0
	300	00	e		800	1,60	9	24	420.000	8,5
	200	00	e	Sem Redutor	1000	1,60	9	24	420.000	10,0
	100	00	e		1600	1,60	9	24	420.000	12,0
6.000										
Hotel	750	80/90	E	Hidráulico	630	0,63	2	6	50.000	11,0
	250	80/90	E		1000	0,63	2	6	50.000	14,7
	1.500	80/90/00	E	Com Redutor	630	1,00	9	24	360.000	6,0
	7.500	80/90/00	E		800	1,00	9	24	360.000	8,0
	500	80/90/00	e		1000	1,60	11	30	360.000	10,0
	300	00	e	Sem Redutor	630	1,60	13	39	500.000	6,0
	200	00	e		800	1,60	13	39	500.000	8,5
	100	00	e		1000	2,50	13	39	500.000	14,0
11.100										
Comercial	750	90/00	E	Hidráulico	800	0,63	2	6	73.000	12,5
	250	90/00	E		1000	0,63	2	6	73.000	14,7
	500	90/00	E	Com Redutor	800	1,00	4	12	260.000	8,0
	1.000	90/00	E		1000	1,00	4	12	260.000	11,0
	250	90/00	e		1250	1,00	4	12	260.000	12,5
	100	00	e	Sem Redutor	800	1,00	4	12	300.000	8,0
	100	00	e		1000	1,00	4	12	300.000	9,0
	50	00	e		1250	1,00	4	12	300.000	11,0
3.000										
Outros	750	90/00	E	Hidráulico	1000	0,63	4	9	30.000	14,7
	250	90/00	e	Hidráulico	2000	0,40	4	9	30.000	20,0
	400	90/00	E	Com Redutor	1000	1,00	5	12	60.000	11,0
	100	00/	e	Sem Redutor	1000	1,00	5	12	80.000	9,0
1.500										

Nota: E – eletromecânico, não apresenta VSD; e – eletrónico, apresenta VSD.

A Figura 6-1 representa a desagregação do consumo dos cerca de 140 mil elevadores presentes em Portugal para o caso de elevadores da tecnologia tração sem redutor apresentarem classe “B”, os elevadores da tecnologia tração com redutor e sem VSD classe “E”, tração com redutor e com VSD classe “D”, e os hidráulicos classe “G”. O consumo total destes elevadores, em modo de funcionamento, é de cerca de 344,1 GWh/ano.

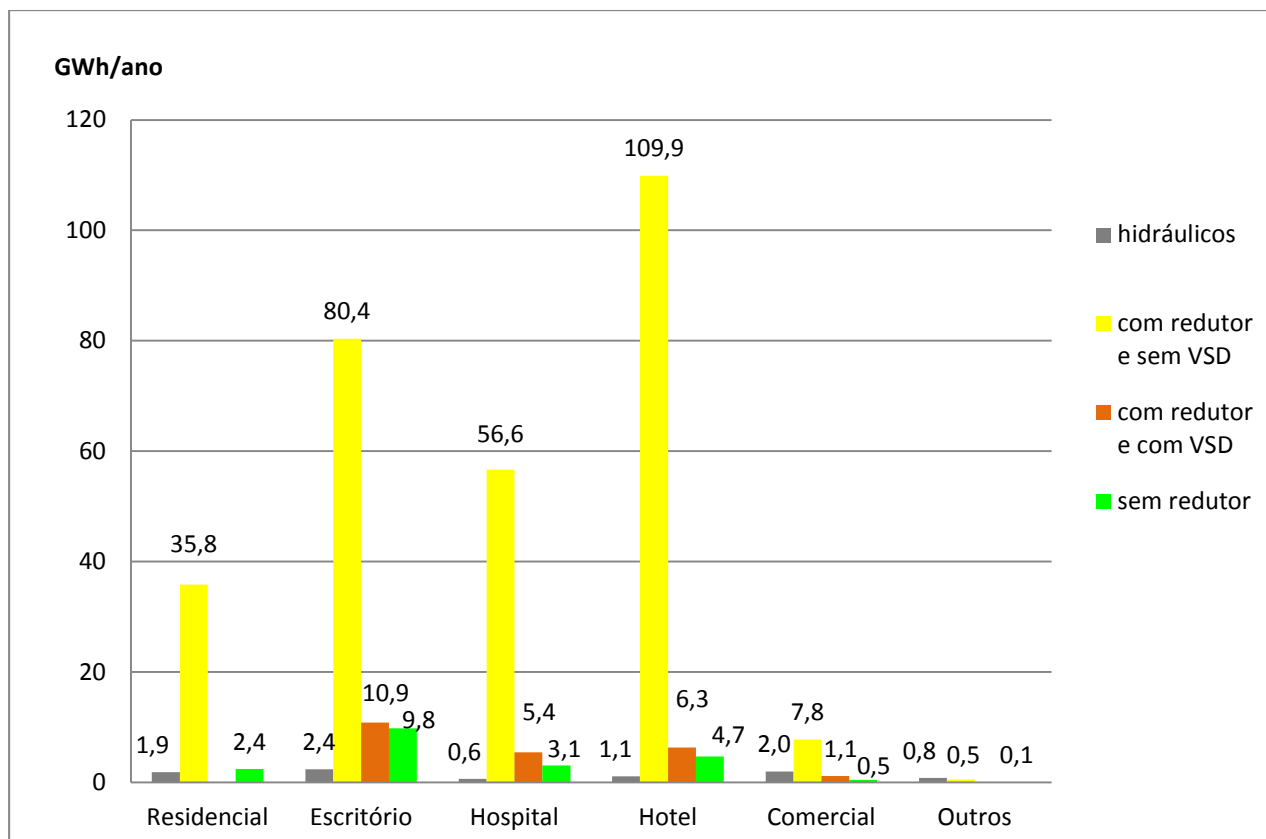


Figura 6-1 - Consumo anual dos elevadores em Portugal, em modo de funcionamento

Apesar do número de elevadores instalados no setor de serviços (escritório, hospital, hotel comercial e outros) ser menor em relação ao setor residencial, o consumo de energia é francamente maior. Esta diferença deve-se principalmente ao facto de o setor de serviços apresentar uma utilização mais intensiva.

Para realizar a estimativa de poupanças é necessário saber quanto seria o consumo anual caso todos os elevadores pertencessem à classe “C”, exceto os sem redutor que já pertencem à classe “B”. Esses resultados estão representados na Figura 6-2. Para este caso o consumo total é de cerca de 168,1 GWh/ano, que demonstra a possibilidade de poupanças de aproximadamente 51%.

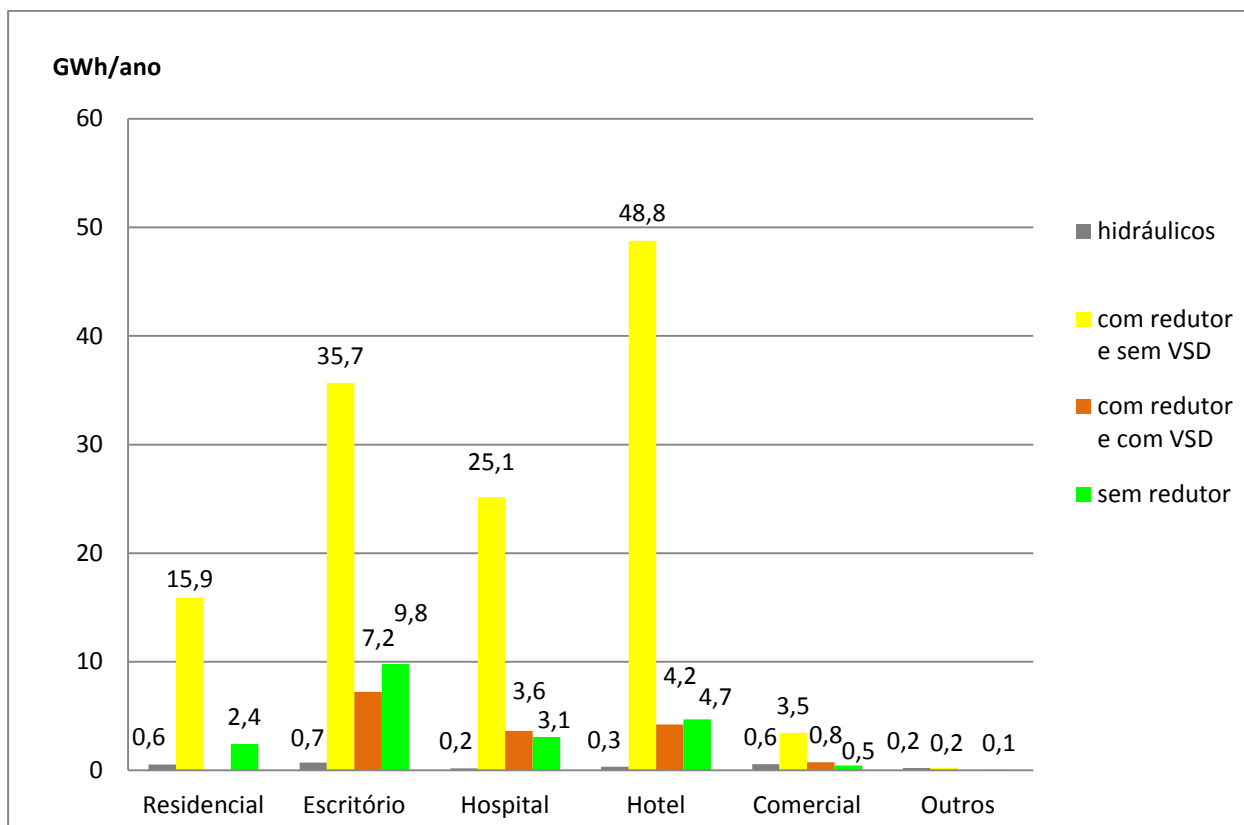


Figura 6-2 - Consumo anual dos elevadores em Portugal caso pertencem todos à classe “C”, exceto os sem redutor

A próxima tabela mostra a poupança do consumo estimado de eletricidade por ano, separado por setor e por tecnologia, de acordo com o cenário explicado anteriormente.

Tabela 6-2 - Poupanças no consumo de energia, em modo de funcionamento

	Hidráulicos	Tração com redutor e sem VSD	Tração com redutor e com VSD	Total
Residencial	1,3 GWh	19,9 GWh	-	21,2 GWh
Escritório	1,7 GWh	44,7 GWh	3,6 GWh	50 GWh
Hospital	0,5 GWh	31,5 GWh	1,8 GWh	33,8 GWh
Hotel	0,8 GWh	61,1 GWh	2,1 GWh	64 GWh
Comercial	1,4 GWh	4,3 GWh	0,4 GWh	6,2 GWh
Outros	0,6 GWh	0,3 GWh	-	0,9 GWh
				176,1 GWh

Pela análise da Tabela 6-2 pode-se facilmente retirar que consegue-se obter uma redução no consumo de cerca de 176,1 GWh para o caso proposto. Para que esta redução fosse possível seria necessário a utilização das melhores tecnologias disponíveis.

Uma vez que a energia total consumida por ano é estimada pela soma da energia de manobra consumida por ano, obtida anteriormente, com a energia consumida por ano em modo inativo/standby, procedeu-se ao estudo das poupanças desta ultima componente. Para este estudo o objetivo é que todos os elevadores consumam 100 W ou menos, ou seja se encontrem na categoria “B” de acordo com a Tabela 4-7. De modo a estar de acordo com os resultados obtidos nas auditorias, no que concerne à energia de standby, assumiu-se que os elevadores residenciais consomem 150 W e se encontram na categoria “C”, enquanto que os elevadores de serviços (escritório, hospital, hotel comercial e outros) com carga superior a 630 kg consomem 400 W e inferior a 630 kg consomem 250 W, ou seja encontram-se ambos na categoria “D”.

Foram utilizadas as equações 9, 10, 11 e 12 e a Tabela 4-7 para a realização deste estudo, demonstrado na Figura 6-3.

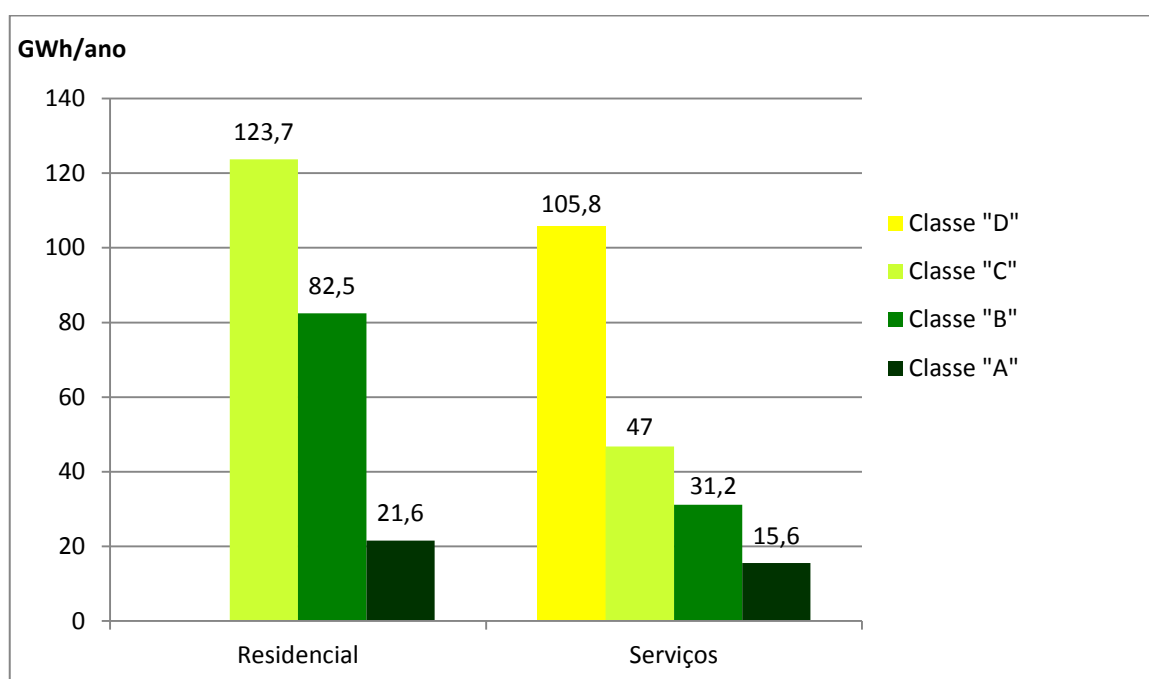


Figura 6-3 - Poupanças no consumo standby de acordo com diferentes cenários nos setores residencial e de serviço

As poupanças no consumo de energia em standby são bastante elevadas, uma vez que no setor residencial a poupança seria aproximadamente de 41,2 GWh e no setor de serviços de cerca de 74,6 GWh, no caso de passarem para a classe “B”. Caso passassem para a classe “A” essas poupanças seriam de 102,1 GWh e de 90,2 GWh, para o setor residencial e de serviços, respetivamente.

Ou seja, no total, a redução de energia despendida em standby seria perto de 70%. Esta redução considera-se possível utilizando tecnologias prontamente disponíveis, nomeadamente a utilização de iluminação LED, como já foi referido anteriormente.

Os resultados apresentados na Figura 6-4 demonstram a possibilidade de poupanças gerais de mais de 65% para o caso em que a classificação energética de manobra de todos os elevadores em Portugal fosse a classe “C”, exceto os elevadores sem redutor que pertencem à classe “B”, e que a classificação energética em modo standby destes mesmos elevadores fosse classe “B”.

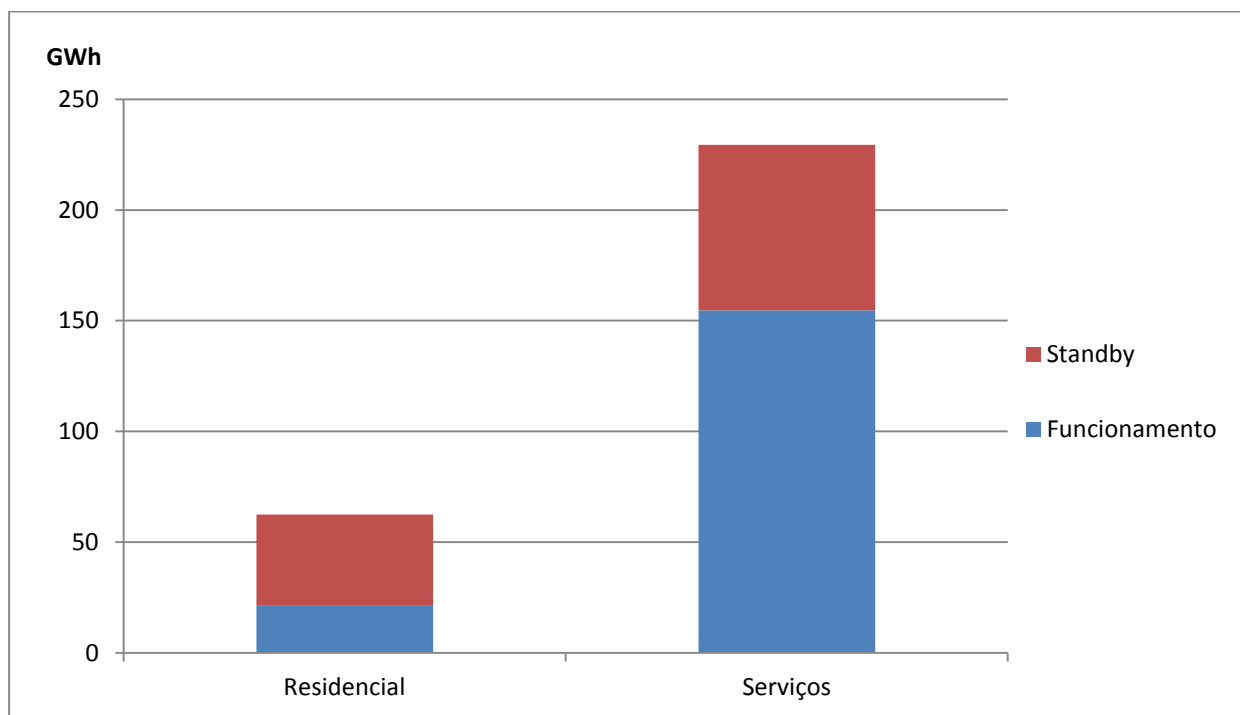


Figura 6-4 - Estimativa das poupanças no consumo de eletricidade

As poupanças no consumo de eletricidade em standby são especialmente notáveis, principalmente no setor residencial.

Estima-se que a poupança total de eletricidade seria de aproximadamente 291,9 GWh. Sendo o preço da eletricidade 0,1497 €/kWh, obteríamos poupanças na ordem dos 43,7 milhões de euros por ano.

Em Portugal a eletricidade consumida por ano cifra-se na ordem dos 47,1 TWh, logo as poupanças representariam 0,6% deste valor.

7 CONCLUSÃO

Nesta dissertação após uma breve introdução teórica sobre os diferentes tipos de elevadores, fez-se uma análise das principais tecnologias eficientes que existem na atualidade, e apresentou-se uma breve caracterização do mercado de elevadores em Portugal.

Realizaram-se auditorias a seis elevadores, mas só se fez o estudo a cinco uma vez que surgiu um problema de ordem técnico em uma das auditorias. Utilizaram-se ainda dados de auditorias realizadas no âmbito do projeto E4. O objetivo das auditorias foi o de identificar na prática as dificuldades de aplicação da metodologia desenvolvida para a etiquetagem energética de elevadores.

À metodologia foi adicionado um método de cálculo que permite uma mais fácil aplicação, método esse onde se utiliza a energia em regime permanente e a distância em regime permanente.

A partir dos resultados das auditorias obtiveram-se os perfis de consumos de energia e os custos de eletricidade associados, a classificação energética de manobra, a classificação energética inativa/standby, e por fim a classificação do desempenho energético de cada elevador que irá constar na Etiqueta a ser emitida posteriormente.

Estima-se que os elevadores, em Portugal, consumam no total (modo funcionamento mais modo standby) 573,6 GWh (163,8 GWh no setor residencial e 409,8 GWh no setor de serviços), para o seguinte caso:

- Modo de funcionamento: Os elevadores da tecnologia tração sem redutor apresentarem-se na classe “B”, os elevadores da tecnologia tração com redutor, com e sem VSD, encontrarem-se na classe “D” e “E”, respetivamente, e os hidráulicos encontrarem-se na última classe, a classe “G”.
- Modo de standby: Os elevadores residenciais consomem 150 W e encontram-se na categoria “C”, e os elevadores de serviços com carga superior a 630 kg consomem 400 W e inferior a 630 kg consomem 250 W, ou seja encontram-se ambos na categoria “D”.

Apesar do número de elevadores instalados no setor de serviços ser menor em relação ao setor residencial, o consumo de energia é significativamente maior. Esta diferença deve-se principalmente ao facto de o setor de serviços apresentar uma utilização mais intensiva.

Por fim realizou-se o estudo sobre o impacto que as etiquetas energéticas poderiam representar em Portugal no que diz respeito a poupanças de consumo, para o caso em que a classificação energética de manobra de todos os elevadores em Portugal fosse a classe “C”, exceto os elevadores sem redutor que pertencem à classe “B”, e em que a classificação energética em modo standby destes mesmos elevadores fosse classe “B”.

Estima-se que as poupanças gerais em modo de funcionamento alcancem os 176 GWh, valor que representa 51% de poupanças.

Ao utilizar as melhores tecnologias disponíveis pode-se esperar poupanças no consumo em modo standby de mais de 50% caso os elevadores pertencessem à classe “B” e de mais de 80% se pertencessem à classe “A”.

A poupança total de eletricidade estimada seria de aproximadamente 291,9 GWh, ou seja, mais de 50% de poupança.

Os ganhos económicos são outro grande atrativo, podendo chegar-se a poupar perto de 43,7 milhões de euros por ano para o global dos elevadores substituídos, e uma vez que o preço da eletricidade continua com tendência a aumentar, a redução do consumo energético dos elevadores torna-se ainda mais importante.

Assim, e devido à tendência demográfica, requerendo maiores índices de conforto e consequentemente aumentando o número de instalações, é fundamental que este estudo tenha continuidade devido ao enorme potencial que apresenta.

Uma sugestão de trabalho futuro seria o estudo da relação investimento/poupança caso tecnologias eficientes fossem implementadas em elevadores em uso. Para isso seria necessário contactar as empresas que fabricam tais equipamentos de forma a obter orçamentos e verificar se o investimento seria rentável.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Aníbal T. de Almeida (2010). “E4 Energy Efficient Elevators and Escalators”. ISR – University of Coimbra
- [2] Draft International Standard ISSO/DIS 25745-1 “Energy Performance of Lifts and Escalators – Part 1: Energy Measurement and verification”, 2012
- [3] VDI 4707 1-2: “Lifts”, 2009
- [4] Guia de Etiquetagem Energética de Elevadores – Versão 1.0 (2013). Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos
- [5] Franco, M. Leichsenring (2011). “Elevadores. A evolução da máquina elétrica”. Publicação nº8 da Revista Técnico-científica Neutro à Terra. Editora: Instituto Politécnico do Porto. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Departamento de Engenharia Eletrotécnica
- [6] Gonçalves, B. (2008). “Elevadores energeticamente mais eficientes: monitorização e identificação de estratégias para aplicação de tecnologias eficientes em Standby – No âmbito do projeto Europeu E4 – Transformação de mercado e diretiva de edifícios da EU”. Tese de Mestrado, DEEC, Coimbra.
- [7] Otis. www.otis.com
- [8] Branco, A. (2008). “Elevadores energeticamente mais eficientes: monitorização e identificação de estratégias para aplicação de tecnologias eficientes em Standby – No âmbito do projeto Europeu E4 – Transformação de mercado e diretiva de edifícios da EU”. Tese de Mestrado, DEEC, Coimbra.
- [9] Nota de Informação Estatística (2014). “Estudo da Central de Balanços | 15 – Análise do Setor da Construção “. Banco de Portugal
- [10] Direção-Geral de Energia e Geologia (2014). “Balanço Energético – Sintético – 2013”.
- [11] Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. “Preços de referência no mercado liberalizado de energia elétrica e gás natural em Portugal continental”, 2014
- [12] Shindler. www.schindler.com

Anexo A

Folha Excel com os resultados obtidos
e respetiva Etiqueta Energética

Caraterísticas do Elevador					
Marca	Schindler	Tipo de edifício	Serviços		
Tecnologia	Tração com redutor				
Potência Nominal (Pn)		kW	Tempo de Ciclo	74	s
Carga Nominal (Q)	630	kg	Velocidade Nominal (Vn)	1,6	m/s
Distância de Viagem (Scr)	45	m	Nr Pisos	14	
Contrabalanço	50	%			
Aceleração (a)	0,5	m/s ²	Variação Velocidade (j)	1	m/s ³

NOTA:

Células a branco com limites tracejados é para inserção de valores

Células a laranja retornam valores

Dados de Medições e Verificação de energia em elevadores				Categoria de uso	
Nr viagens por dia	(nd)	300		3	(ver tabela 1)
Energia Inativa	(Pi)	199,95	W		
Energia Standby 5min	(Pstb5)	199,95	W		
Energia Standby 30min	(Pstb30)	199,95	W		
Energia Ciclo de Referência	(Ecr)	81,16	Wh		
Energia Regime Permanente	(Erp)	57,56	Wh		
Distância de Ciclo Curto	(Scc)		m		
Energia de Ciclo Curto	(Ecc)		Wh		
Tempo porta	(tp)	7	s		
Tempo Regime Permanente	(trp)	46	s		
Cabina Carga Média	(%Q)	7,5	(ver tabela 2)		
Fator de Carga	(KL)	0,877	(ver tabela 3)		
Racio entre a distância média de viagem e a distância máxima de viagem				(p)	44% (ver tabela 4)
Percentagem de tempo inativo	(Ri)	36			
Percentagem de tempo standby 5 minutos	(Rst5)	31		(ver tabela 5)	
Percentagem de tempo standby 30 minutos	(Rst30)	33			

Cálculo através da Energia de Manobra de Ciclo Curto (Ecc) e Distância de Ciclo Curto (Scc):

Cálculo do consumo energético do ascensor				
5.1.2	Distância média	(Sm)	19,8	m
5.1.3	Energia média manobra	(Emm)	0,90177778	Wh/m
5.1.4	Energia arranque/paragem	(Eap)	0	Wh
	Nr de paragens permite medições durante um ciclo curto?		Não	
5.1.5	Energia manobra ciclo médio	(Ecm)	35,7104	Wh
5.1.6	Energia manobra dia	(Emd)	4697,70312	Wh
5.2.1	Tempo manobra dia inativo/standby	(tmv)	23,075	s
5.2.1	Tempo total manobra dia	(tmd)	1,92291667	h
5.2.2	Tempo dia inativo/standby	(tist)	22,07708333	h
5.2.4	Energia dia inativo/standby	(Eist)	4414,31281	Wh
5.3	Energia consumida dia	(Ed)	9112,01593	Wh
5.4	Dias de funcionamento por ano	(da)	365	
	Energia consumida anual	(Ea)	3325885,82	Wh

Classificação da eficiência energética do ascensor

6.2	Classificação energética manobra	(Espc)	C	1,255331922	mWh/h.m
6.3	Classificação energética inativa/standby		E	599,85	W
6.4	Classificação desempenho energético		C		
6.5	Energia específica de manobra ISO	(Espr)	1,4313933	mWh/h.m	

Cálculo através da Energia em regime permanente (Erp) e Distância regime permanente (Srp):


Cálculo do consumo energético do ascensor				
5.1.1	Distância Regime Permanente	(Srp)	73,6	m
5.1.2	Distância média	(Sm)	19,8	m
5.1.3	Energia média manobra	(Emm)	0,782065217	Wh/m
5.1.4	Energia arranque/paragem	(Eap)	11,8	Wh
	Cálculo através de Erp e Srp?		Sim	
5.1.5	Energia manobra ciclo médio	(Ecm)	54,56978261	Wh
5.1.6	Energia manobra dia	(Emd)	7178,654902	Wh
5.2.1	Tempo manobra dia inativo/standby	(tmv)	23,075	s
5.2.1	Tempo total manobra dia	(tmd)	1,922916667	h
5.2.2	Tempo dia inativo/standby	(tist)	22,07708333	h
5.2.4	Energia dia inativo/standby	(Eist)	4414,312813	Wh
5.3	Energia consumida dia	(Ed)	11592,96771	Wh
5.4	Dias de funcionamento por ano	(da)	365	
	Energia consumida anual	(Ea)	4231433,216	Wh

Classificação da eficiência energética do ascensor

6.2	Classificação energética manobra	(Espc)	D	1,918298034	mWh/h.m
6.3	Classificação energética inativa/standby		C	199,95	W
6.4	Classificação desempenho energético		D		
6.5	Energia específica de manobra ISO	(Espr)	1,431393298	mWh/h.m	

Etiqueta Energética:

SEEP
SISTEMA DE ETIQUETAGEM
ENERGÉTICA DE PRODUTOS



ELEVADORES

IDENTIFICAÇÃO DA MARCA
MODELO DO ELEVADOR
ID SEEP:
Local da Instalação

A **B** **C** **D** **E** **F** **G**

Energia específica de manobra 1,918
(mWh/h.m) (classe D)

Potência em Standby 199,95
(W) (classe C)

Categoria de uso 3

Tipo de elevador Tração com redutor

Carga elevador 630 kg

Velocidade nominal 1,6 m/s

Para saber mais sobre este produto, pesquise pelo
respetivo número "ID SEEP" em www.seep.pt

ADENE
AGÊNCIA PARA A ENERGIA

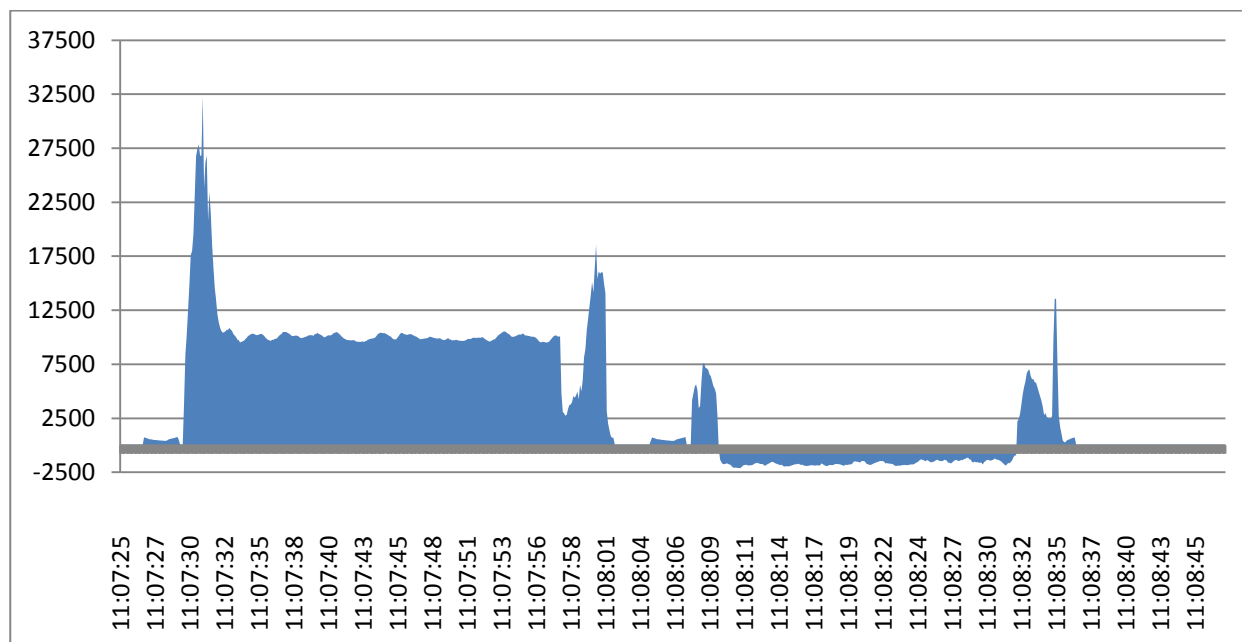
Anexo B

Auditorias e análise dos dados dos
restantes 6 elevadores

- Segundo Elevador de Lisboa (Elevador 2):

Descrição	Especificações
Categoria do edifício	Serviços
Local	Lisboa
Número de pisos	14
Marca do equipamento	Schindler
Tecnologia (tração com redutor, tração sem redutor ou hidráulico)	Tração com redutor
Tecnologia (Eletromecânico ou Eletrónico)	Eletrónico
Carga Nominal [Kg]	630
Potência Nominal do Motor [kW]	-
Velocidade Nominal [m/s]	1,6
Aceleração [m/s ²]	0.5
Variação de Velocidade (Jerk) [m/s ³]	1
Altura máxima de viagem [m]	45
Contrabalanço [%]	50
Marca do Equipamento de Medida	HIOKI
Modelo do Equipamento de Medida	Clamp On Power HiTest 3169-20
Tempo de Intervalo das Medidas [s]	0,1

Gráfico do ciclo de referência:



Cálculo da energia utilizada no elevador:

- Energia consumida num ciclo de referência:

$$E_{ciclo} = \frac{1}{3600} * \frac{A}{2} * \sum_{t=0}^{t=n-1} (P_t + P_{t+1}) = \frac{1}{3600} * \frac{0,1}{2} * 6735480 = 93,55 \text{ Wh}$$

O tempo de ciclo é facilmente retirado do gráfico, sendo igual a 82 segundos.

- Energia consumida em Regime Permanente:

$$E_{regime\ permanente} = \frac{1}{3600} * \frac{0,1}{2} * (5114695 + (-732023)) = 60,87 \text{ Wh}$$

O tempo que se encontra em Regime Permanente é de 25s+21s = 46 segundos.

- Energia consumida durante o Standby:

$$E_{standby} = P_{méd} + P_{iluminação} = 64,62W + 136,07W = 200,68W$$

- Tempo de porta:

É facilmente retirado pela análise do gráfico e é igual a 7 segundos.

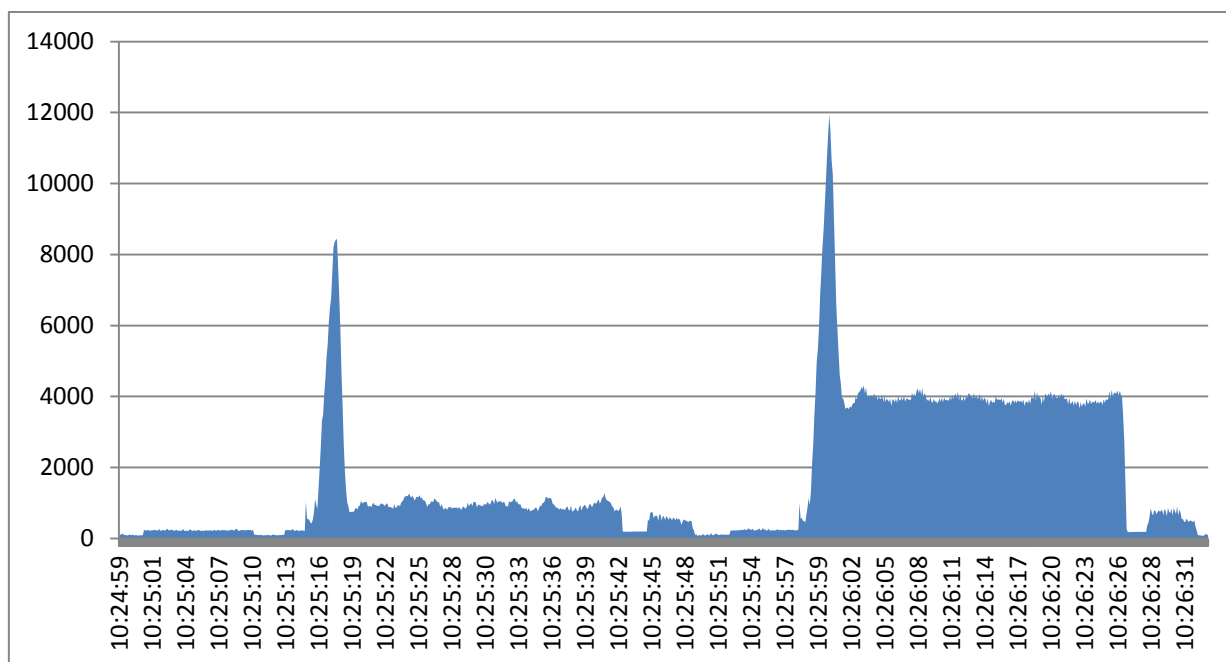
Para completar a recolha dos dados basta ir às tabelas apresentadas anteriormente na primeira secção da Parte 2 do capítulo 4.3 e retirar os seguintes valores:

- Categoria de uso: 3
- Número de viagens por dia: 300
- Rácio entre a distância média de viagem e a distância máxima de viagem: 44%
- Percentagem da carga nominal: 7,5%
- Fator de Carga: 0.877
- Percentagem de tempo inativo: 36
- Percentagem de tempo Standby 5minutos: 31
- Percentagem de tempo Standby 30minutos: 33

- Hotel Palacio, Porto (Elevador 3):

Descrição	Especificações
Categoria do edifício	Hotel
Local	Porto
Número de pisos	22
Marca do equipamento	-
Tecnologia (tração com redutor, tração sem redutor ou hidráulico)	Tração sem redutor com motor de imanes permanentes e com VSD
Tecnologia (Eletromecânico ou Eletrónico)	Eletrónico
Carga Nominal [Kg]	975
Potência Nominal do Motor [kW]	20
Velocidade Nominal [m/s]	12,5
Aceleração [m/s ²]	1
Variação de Velocidade (Jerk) [m/s ³]	1
Altura máxima de viagem [m]	77
Contrabalanço [%]	50
Marca do Equipamento de Medida	HIOKI
Modelo do Equipamento de Medida	Clamp On Power HiTest 3169-20
Tempo de Intervalo das Medidas [s]	0,1

Gráfico do ciclo de referência:



Cálculo da energia utilizada no elevador:

- Energia consumida num ciclo de referência:

$$E_{ciclo} = \frac{1}{3600} * \frac{A}{2} * \sum_{t=0}^{t=n-1} (P_t + P_{t+1}) = \frac{1}{3600} * \frac{0,1}{2} * 3280341 = 45,56 \text{ Wh}$$

O tempo de ciclo é facilmente retirado do gráfico, sendo igual a 93 segundos.

- Energia consumida em Regime Permanente:

$$E_{regime\ permanente} = \frac{1}{3600} * \frac{0,1}{2} * (451467,1 + 1878380) = 32,36 \text{ Wh}$$

O tempo que se encontra em Regime Permanente é de 23s+23s = 46 segundos.

- Energia consumida durante o Standby:

$$E_{standby} = P_{méd} = 96,44 \text{ W}$$

- Tempo de porta:

É facilmente retirado pela análise do gráfico e é igual a 12 segundos.

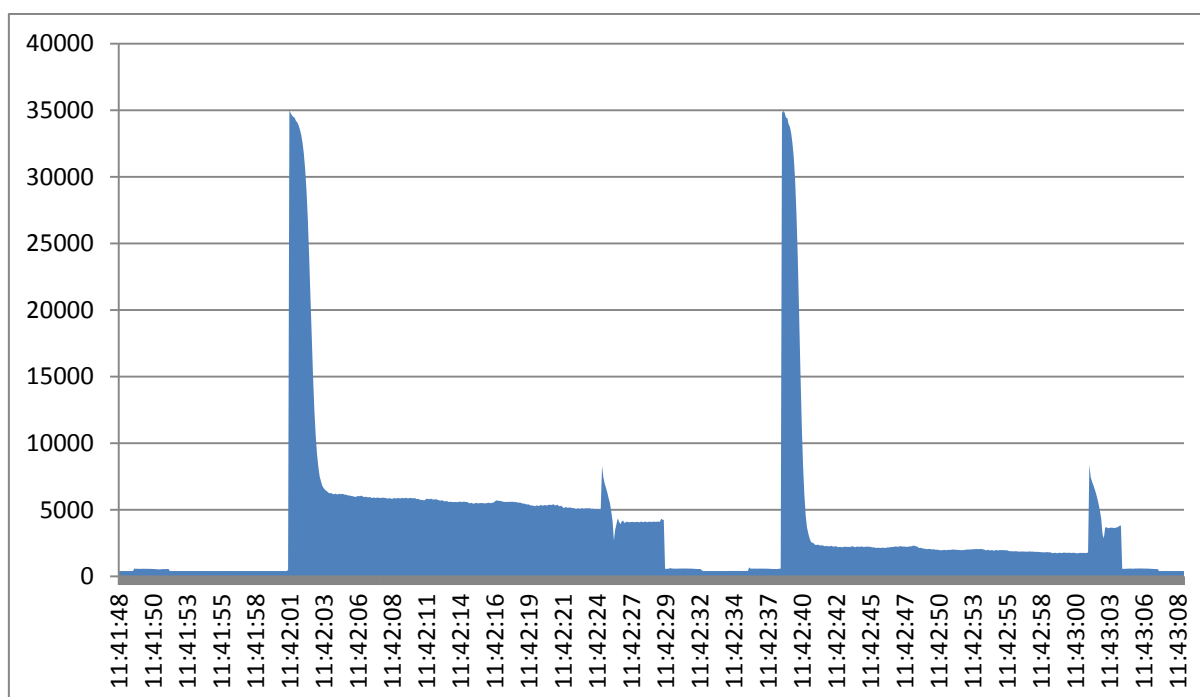
Para completar a recolha dos dados basta ir às tabelas apresentadas anteriormente na primeira secção da Parte 2 do capítulo 4.3 e retirar os seguintes valores:

- Categoria de uso: 4
- Número de viagens por dia: 750
- Rácio entre a distância média de viagem e a distância máxima de viagem: 44%
- Percentagem da carga nominal: 6%
- Fator de Carga: 0.9016
- Percentagem de tempo inativo: 45
- Percentagem de tempo Standby 5 minutos: 19
- Percentagem de tempo Standby 30 minutos: 36

- Hotel Palacio, Porto (Elevador 4):

Descrição	Especificações
Categoria do edifício	Hotel
Local	Porto
Número de pisos	18
Marca do equipamento	-
Tecnologia (tração com redutor, tração sem redutor ou hidráulico)	Tração com redutor
Tecnologia (Eletromecânico ou Eletrónico)	Eletromecânico
Carga Nominal [Kg]	800
Potência Nominal do Motor [kW]	8,8
Velocidade Nominal [m/s]	2
Aceleração [m/s^2]	1
Variação de Velocidade (Jerk) [m/s^3]	1
Altura máxima de viagem [m]	63
Contrabalanço [%]	50
Marca do Equipamento de Medida	HIOKI
Modelo do Equipamento de Medida	Clamp On Power HiTest 3169-20
Tempo de Intervalo das Medidas [s]	0,1

Gráfico do ciclo de referência:



Cálculo da energia utilizada no elevador:

- Energia consumida num ciclo de referência:

$$E_{ciclo} = \frac{1}{3600} * \frac{A}{2} * \sum_{t=0}^{t=n-1} (P_t + P_{t+1}) = \frac{1}{3600} * \frac{0,1}{2} * 6435630 = 89,38 \text{ Wh}$$

O tempo de ciclo é facilmente retirado do gráfico, sendo igual a 79 segundos.

- Energia consumida em Regime Permanente:

$$E_{regime\ permanente} = \frac{1}{3600} * \frac{0,1}{2} * (2423260 + 849215,1) = 45,45 \text{ Wh}$$

O tempo que se encontra em Regime Permanente é de 21s+20s = 41 segundos.

- Energia consumida durante o Standby:

$$E_{standby} = P_{méd} = 410,05 \text{ W}$$

- Tempo de porta:

É facilmente retirado pela análise do gráfico e é igual a 8 segundos.

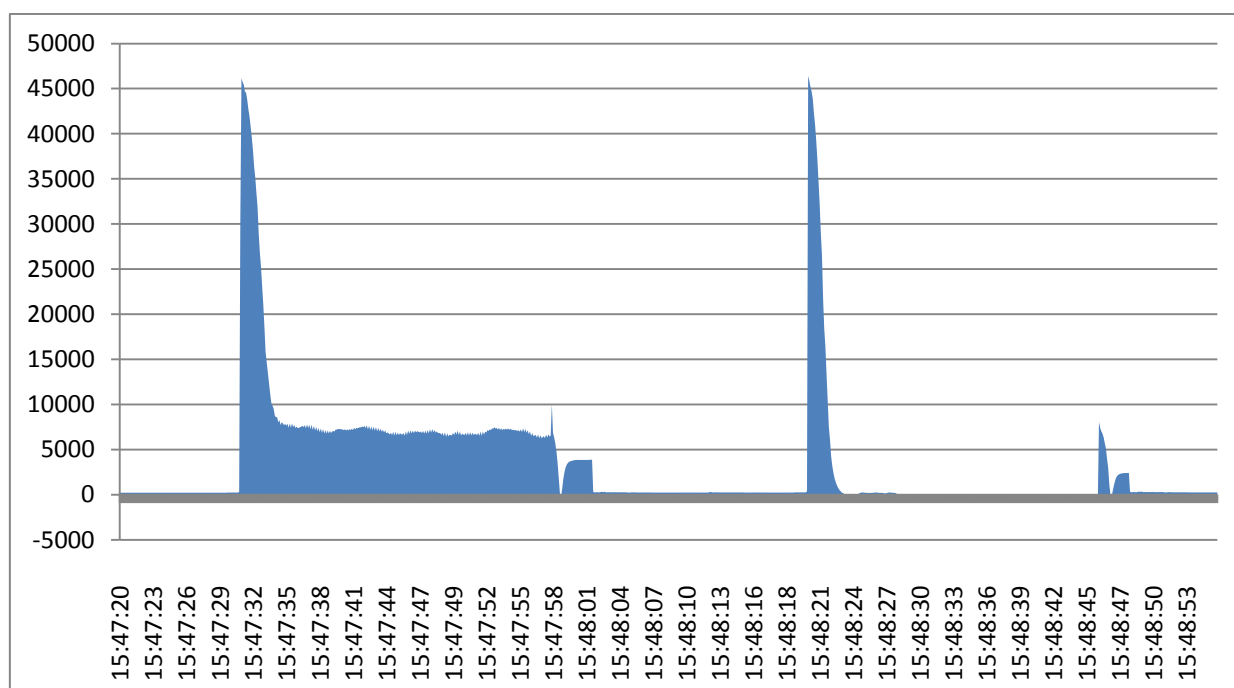
Para completar a recolha dos dados basta ir às tabelas apresentadas anteriormente na primeira secção da Parte 2 do capítulo 4.3 e retirar os seguintes valores:

- Categoria de uso: 4
- Número de viagens por dia: 750
- Rácio entre a distância média de viagem e a distância máxima de viagem: 44%
- Percentagem da carga nominal: 9%
- Fator de Carga: 0.8524
- Percentagem de tempo inativo: 45
- Percentagem de tempo Standby 5 minutos: 19
- Percentagem de tempo Standby 30 minutos: 36

- Elevador do DEEC, Coimbra (Elevador 5):

Descrição	Especificações
Categoria do edifício	Serviços
Local	Coimbra
Número de pisos	9
Marca do equipamento	Schmitt Sohn
Tecnologia (tração com redutor, tração sem redutor ou hidráulico)	Tração com redutor + VSD
Tecnologia (Eletromecânico ou Eletrónico)	Eletromecânico
Carga Nominal [Kg]	630
Potência Nominal do Motor [kW]	11
Velocidade Nominal [m/s]	1
Aceleração [m/s^2]	0.5
Variação de Velocidade (Jerk) [m/s^3]	1
Altura máxima de viagem [m]	31,5
Contrabalanço [%]	50
Marca do Equipamento de Medida	HIOKI
Modelo do Equipamento de Medida	Clamp On Power HiTest 3169-20
Tempo de Intervalo das Medidas [s]	0,1

Gráfico do ciclo de referência:



Cálculo da energia utilizada no elevador:

- Energia consumida num ciclo de referência:

$$E_{ciclo} = \frac{1}{3600} * \frac{A}{2} * \sum_{t=0}^{t=n-1} (P_t + P_{t+1}) = \frac{1}{3600} * \frac{0,1}{2} * 6880251 = 95,56 \text{ Wh}$$

O tempo de ciclo é facilmente retirado do gráfico, sendo igual a 96 segundos.

- Energia consumida em Regime Permanente:

$$E_{regime\ permanente} = \frac{1}{3600} * \frac{0,1}{2} * (3317787 + (-116405)) = 44,46 \text{ Wh}$$

O tempo que se encontra em Regime Permanente é de 23s+21s = 4 segundos.

- Energia consumida durante o Standby:

$$E_{standby} = P_{méd} + P_{iluminação} = 95,2W + 136,07W = 221,2 \text{ W}$$

- Tempo de porta:

É facilmente retirado pela análise do gráfico e é igual a 7 segundos.

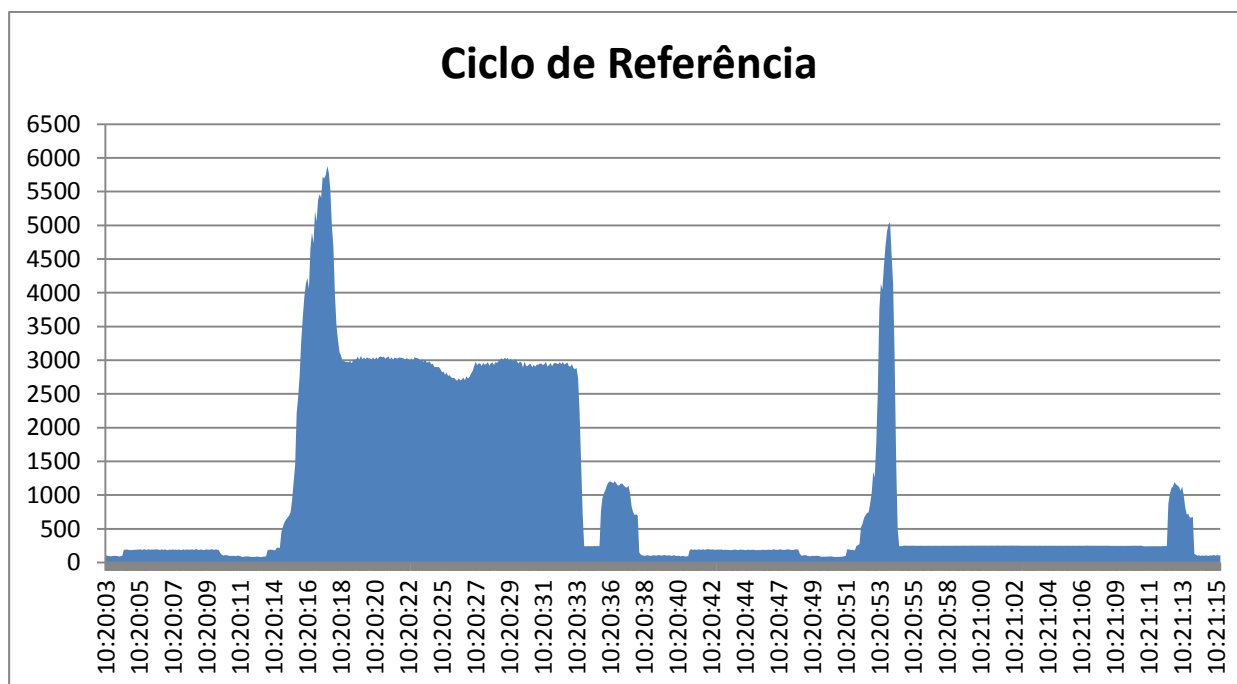
Para completar a recolha dos dados basta ir às tabelas apresentadas anteriormente na primeira secção da Parte 2 do capítulo 4.3 e retirar os seguintes valores:

- Categoria de uso: 2
- Número de viagens por dia: 125
- Rácio entre a distância média de viagem e a distância máxima de viagem: 44%
- Percentagem da carga nominal: 7,5%
- Fator de Carga: 0.877
- Percentagem de tempo inativo: 23
- Percentagem de tempo Standby 5minutos: 45
- Percentagem de tempo Standby 30minutos: 32

- Elevador Thyssenkrupp, EDP Coimbra (Elevador 6):

Descrição	Especificações
Categoria do edifício	Serviços
Local	Coimbra
Número de pisos	6
Marca do equipamento	Thyssenkrupp
Tecnologia (tração com redutor, tração sem redutor ou hidráulico)	Tração com redutor + VSD
Tecnologia (Eletromecânico ou Eletrónico)	Eletromecânico
Carga Nominal [Kg]	630
Potência Nominal do Motor [kW]	-
Velocidade Nominal [m/s]	1
Aceleração [m/s ²]	0.5
Variação de Velocidade (Jerk) [m/s ³]	1
Altura máxima de viagem [m]	21
Contrabalanço [%]	50
Marca do Equipamento de Medida	HIOKI
Modelo do Equipamento de Medida	Clamp On Power HiTest 3169-20
Tempo de Intervalo das Medidas [s]	0,1

Gráfico do ciclo de referência:



Cálculo da energia utilizada no elevador:

- Energia consumida num ciclo de referência:

$$E_{ciclo} = \frac{1}{3600} * \frac{A}{2} * \sum_{t=0}^{t=n-1} (P_t + P_{t+1}) = \frac{1}{3600} * \frac{0,1}{2} * 1587374,65 = 22,05 \text{ Wh}$$

O tempo de ciclo é facilmente retirado do gráfico, sendo igual a 71 segundos.

- Energia consumida em Regime Permanente:

$$E_{regime\ permanente} = \frac{1}{3600} * \frac{0,1}{2} * (907915,8 + 86683,51) = 13,81 \text{ Wh}$$

O tempo que se encontra em Regime Permanente é de 25s+17s = 42 segundos.

- Energia consumida durante o Standby:

$$E_{standby} = P_{méd} + P_{iluminação} = 200,15W + 92,27W = 292,4W$$

- Tempo de porta:

É facilmente retirado pela análise do gráfico e é igual a 13 segundos.

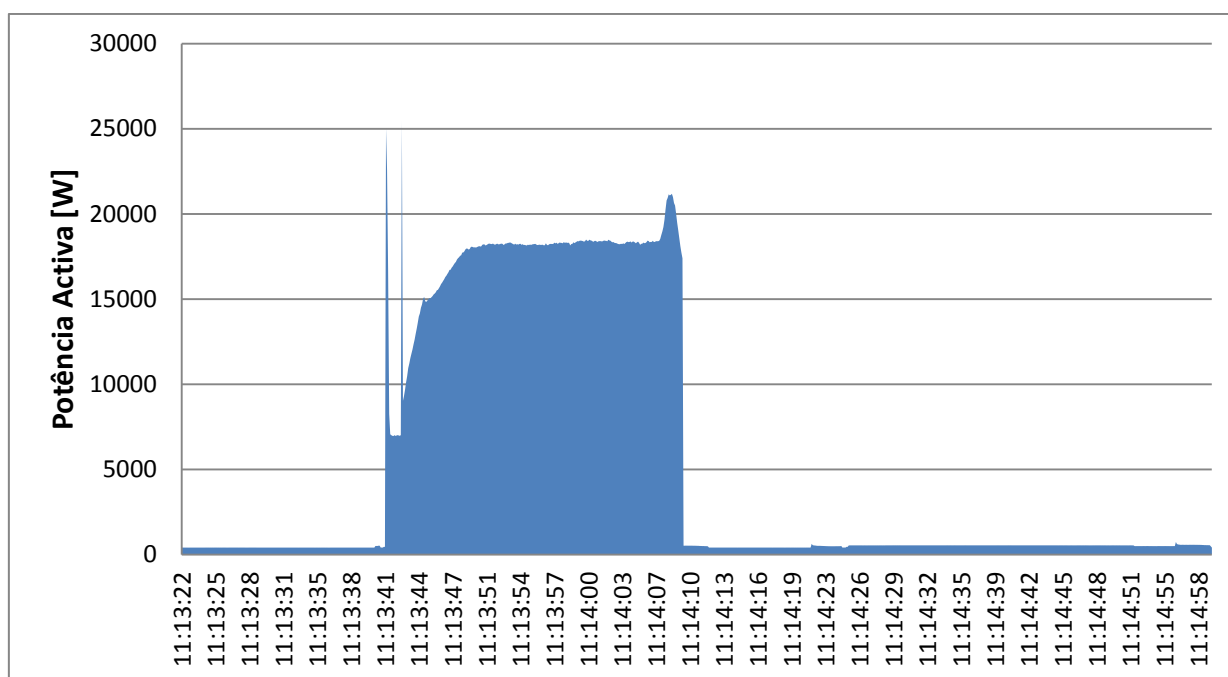
Para completar a recolha dos dados basta ir às tabelas apresentadas anteriormente na primeira secção da Parte 2 do capítulo 4.3 e retirar os seguintes valores:

- Categoria de uso: 2
- Número de viagens por dia: 125
- Rácio entre a distância média de viagem e a distância máxima de viagem: 44%
- Percentagem da carga nominal: 7,5%
- Fator de Carga: 0.877
- Percentagem de tempo inativo: 23
- Percentagem de tempo Standby 5minutos: 45
- Percentagem de tempo Standby 30minutos: 32

- FCTUC Serviços Académicos, Coimbra (Elevador 7):

Descrição	Especificações
Categoria do edifício	Serviços
Local	Coimbra
Número de pisos	5
Marca do equipamento	-
Tecnologia (tração com redutor, tração sem redutor ou hidráulico)	Hidráulico
Tecnologia (Eletromecânico ou Eletrónico)	Eletrónico
Carga Nominal [Kg]	640
Potência Nominal do Motor [kW]	14,7
Velocidade Nominal [m/s]	0,63
Aceleração [m/s ²]	0,63
Variação de Velocidade (Jerk) [m/s ³]	1
Altura máxima de viagem [m]	17,5
Contrabalanço [%]	-
Marca do Equipamento de Medida	HIOKI
Modelo do Equipamento de Medida	Clamp On Power HiTest 3169-20
Tempo de Intervalo das Medidas [s]	0,1

Gráfico do ciclo de referência:



Cálculo da energia utilizada no elevador:

- Energia consumida num ciclo de referência:

$$E_{ciclo} = \frac{1}{3600} * \frac{A}{2} * \sum_{t=0}^{t=n-1} (P_t + P_{t+1}) = \frac{1}{3600} * \frac{0,1}{2} * 10350372 = 143,76 \text{ Wh}$$

O tempo de ciclo é facilmente retirado do gráfico, sendo igual a 97 segundos.

- Energia consumida em Regime Permanente:

$$E_{regime\ permanente} = \frac{1}{3600} * \frac{0,1}{2} * (7217562 + 287188,8) = 104,23 \text{ Wh}$$

O tempo que se encontra em Regime Permanente é de 20s+26s = 46 segundos.

- Energia consumida durante o Standby:

$$E_{standby} = P_{méd} = 404,83 \text{ W}$$

- Tempo de porta:

É facilmente retirado pela análise do gráfico e é igual a 13 segundos.

Para completar a recolha dos dados basta ir às tabelas apresentadas anteriormente na primeira secção da Parte 2 do capítulo 4.3 e retirar os seguintes valores:

- Categoria de uso: 1
- Número de viagens por dia: 50
- Rácio entre a distância média de viagem e a distância máxima de viagem: 44%
- Percentagem da carga nominal: 7,5%
- Fator de Carga: 1,05325
- Percentagem de tempo inativo: 23
- Percentagem de tempo Standby 5 minutos: 45
- Percentagem de tempo Standby 30 minutos: 32