



Eficiência Energética nos Ascensores - Estudo da Alimentação Alternativa do Sistema em Standby

DIOGO GONÇALVES PEREIRA

novembro de 2017

EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NOS ASCENSORES – ESTUDO DA ALIMENTAÇÃO ALTERNATIVA DO SISTEMA EM STANDBY

Diogo Gonçalves Pereira



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia

2017

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de DSEE -
Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Diogo Gonçalves Pereira, Nº 1120336, 1120336@isep.ipp.pt

Orientação científica: Professor Doutor Fernando Maurício Dias, fmd@isep.ipp.pt

Empresa: Schmitt-Elevadores, Lda

Supervisão: Dr. Miguel Franco, m.franco@schmitt-elevadores.com



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2017

“Possunt, quia posse videntur”

Publius Virgilius Maro

Agradecimentos

Aos meus pais, ao meu irmão, à minha irmã e à restante família que me apoiaram em todo o meu percurso académico.

Aos meus amigos e colegas da faculdade por todo o apoio e incentivo sempre prestados, com um especial obrigado ao Rui Pinto pela orientação ao longo da elaboração da aplicação para *smartphones* criada neste projeto.

Ao meu orientador, Doutor Maurício Dias, pela sua ajuda e orientação incansáveis ao longo do período de estágio e na elaboração deste documento.

Ao meu coorientador de estágio, Dr. Miguel Franco, pela oportunidade dada de poder elaborar a dissertação na Schmitt-Elevadores, não esquecendo todo o auxílio que me foi prestado da sua parte durante o estudo e elaboração do projeto.

Ao senhor Pascoal Pereira, ao Alfredo Silva, ao Pedro Silva, ao João Brägger, ao João Barreiros e a todos os colegas da Schmitt-Elevadores que direta ou indiretamente me ajudaram no processo de integração da empresa e/ou na elaboração deste projeto.

Resumo

Neste documento é estudada a possibilidade de alimentar, através de fontes de energia com origem eólica e solar, o sistema elétrico de um ascensor principalmente quando este se encontra em inatividade/*standby* (estado do sistema quando não se encontra em movimento) com o principal objetivo de reduzir ou anular integralmente a energia elétrica solicitada à rede elétrica do edifício.

Todas as cargas associadas ao ascensor, quando este se encontra inativo, poderão ser alimentadas pelas fontes acima referidas, sendo feito um estudo das condições atmosféricas que as afetam e de alguns cenários a implementar ao longo do projeto.

Com isto, pretende-se que a energia requerida à RESP seja reduzida e a classificação energética do sistema do ascensor, tendo como base a norma internacional ISO 25745, seja a mais alta possível. Para corroborar os efeitos do presente estudo, recorrer-se-á a um simulador contabilizando diferentes categorias de utilização do ascensor; serão também efetuadas mensurações a um ascensor de teste nas instalações da Schmitt-Elevadores antes e após serem implementadas as soluções propostas.

Adicionalmente, será desenvolvido um *software* em plataforma móvel *smartphone Android* com o intuito – de uma forma mais prática – facilitar a obtenção da informação de consumos e da classe energética de qualquer ascensor antes e após as implementações estudadas e quais os ganhos obtidos com a intervenção.

Palavras-Chave

Eficiência Energética, Standby, Ascensor, Eólica, Fotovoltaica, Variador de Frequência

Abstract

In this document is studied the possibility to supply, through wind and solar energy sources, the power system of a lift especially when this is in idle/standby mode (energy state when the lift is not moving) with the main objective to reduce or fully suppress the electrical energy requested to the building's electrical network.

All the power loads associated to the lift, when in idle mode, can be fed by the previous referred power sources. Atmospheric conditions and case scenarios referred to them will be studied throughout the project.

Is intended that the energy requested to the utility grid is reduced and the lift's system energy efficiency classification, based on the International Standard ISO 25745, is the highest possible. To corroborate the effects of the present study, it will be used a simulator counting different lift usage categories; additional measurements will be made to a test lift in Schmitt Elevator's headquarters before and after being implemented the proposed solutions.

Additionally, will be developed a software for mobile platform Android in order to – in a practical way – facilitate the achievement of information regarding consumptions and energy classification of any lift, before and after the studied implementations and which are the benefits obtained with the intervention.

Keywords

Energy efficiency, Standby, Lift, Wind, Photovoltaic, Frequency Converter

Índice

AGRADECIMENTOS	I
RESUMO	III
ABSTRACT	V
ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS	XI
SIGLAS E ACRÓNIMOS	XIII
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO.....	1
1.2.OBJETIVOS.....	2
1.3.ESTRUTURA DA TESE.....	4
2. ESTADO DA ARTE	5
2.1.O ASCENSOR.....	5
2.2.EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	17
2.3.USO DAS ENERGIA RENOVÁVEIS.....	28
2.4.CONVERSORES DE POTÊNCIA (DC-AC, AC-DC E VARIADORES DE FREQUÊNCIA)	40
2.5.RESUMO DO CAPÍTULO.....	43
3. ANÁLISE INICIAL DO PROJETO	45
3.1.DESCRICÃO DO PROJETO	45
3.2.METODOLOGIA DO PROJETO	58
3.3.RESUMO DO CAPÍTULO	64
4. ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE ESTUDO	67
4.1.ANÁLISE PRELIMINAR DO POTENCIAL DE MELHORIA DA CLASSE ENERGÉTICA.....	67
4.2.SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS	70
4.3.MEDIÇÕES NUM ASCENSOR REAL.....	82
4.4.RESUMO DO CAPÍTULO	93
5. SIMULADOR EM PLATAFORMA MÓVEL	95
5.1.INTRODUÇÃO AO PROGRAMA	96
5.2.CARACTERÍSTICAS E FUNCIONAMENTO DO <i>SOFTWARE</i>	97
5.3.VALIDAÇÃO DO SIMULADOR.....	99

5.4. RESUMO DO CAPÍTULO	102
6. CONCLUSÕES E IMPLEMENTAÇÕES FUTURAS	103
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS.....	107
ANEXO A. INPUTS DO SIMULADOR EM EXCEL	110
ANEXO B. TABELA DA FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DO VENTO	112
ANEXO C. IMAGENS DA INSTALAÇÃO	114

Índice de Figuras

Figura 1	Sistema de polia e gornes de uma máquina de ascensor	7
Figura 2	Vantagem mecânica (Suspensão 1:1 e 2:1, respetivamente)	10
Figura 3	Máquina com caixa redutora e máquina sem caixa redutora, respetivamente	11
Figura 4	Elementos de um sistema de propulsão hidráulico	13
Figura 5	Ascensores hidráulicos de ação direta: <i>In-Ground</i> e <i>Holeless</i>	14
Figura 6	Ascensor hidráulico de ação indireta	15
Figura 7	Comparação de percursos máximos entre diferentes tipos de ascensores	16
Figura 8	Proporção dos modos de manobra e <i>standby</i> em ascensores do sector residencial	21
Figura 9	Pontos de acoplamento de instrumentos de medida	23
Figura 10	Atlas Europeu do Vento – Portugal	32
Figura 11	Curva característica de uma Aero gerador	33
Figura 12	Esquema elétrico equivalente simplificado de uma célula fotovoltaica com carga	36
Figura 13	Curva I-V de um módulo fotovoltaico	37
Figura 14	Efeitos causados pela temperatura e radiação numa célula FV, respetivamente	38
Figura 15	Curva I-V em função da tipologia de ligação	39
Figura 16	Irradiação solar anual na Europa	40
Figura 17	Esquema elétrico de um VVVF	42
Figura 18	Esquema elétrico de ligação dos geradores até ao quadro elétrico do ascensor	46
Figura 19	Aerogerador <i>Silentwind</i>	48
Figura 20	Retificador/Travão	49

Figura 21	Módulos fotovoltaicos	49
Figura 22	Inversor <i>grid tie</i>	50
Figura 23	Planta tridimensional do local em estudo e possível local de instalação de aerogerador	52
Figura 24	Gráfico dos valores médios da velocidade de vento no local de teste	53
Figura 25	Gráfico dos valores médios da velocidade de rajada no local de teste	53
Figura 26	Gráfico da distribuição da predominância do vento	54
Figura 27	Gráfico da distribuição da velocidade média do vento nas diversas direções	55
Figura 28	Representação tridimensional de possível local de instalação de painéis fotovoltaicos	56
Figura 29	Comparação entre resultados antes e após implementações ao sistema de um ascensor	69
Figura 30	Exemplo de um resultado de simulação de consumos e classe energética	73
Figura 31	Curva característica do aerogerador	74
Figura 32	Valores padrão do consumo elétrico do sistema do ascensor	84
Figura 33	Gráfico da potência ativa instantânea total	85
Figura 34	Valores do consumo elétrico do sistema do ascensor – Cenário 1	87
Figura 35	Gráfico da potência ativa instantânea total – Cenário 1	88
Figura 36	Valores do consumo elétrico do sistema do ascensor – Cenário 2	90
Figura 37	Gráfico da potência ativa instantânea total – Cenário 2	91
Figura 38	Fluxograma da aplicação	96
Figura 39	Introdução de dados referentes ao ascensor no simulador SEEP	100
Figura 40	Resultado da simulação SEEP	100
Figura 41	Introdução de dados referentes ao ascensor na aplicação móvel	101
Figura 42	Resultados da simulação na aplicação móvel	102

Índice de Tabelas

Tabela 1	Categoria de utilização	25
Tabela 2	Percentagem de distância de viagem média	25
Tabela 3	Relações de tempo nos modos de inatividade e <i>standby</i>	26
Tabela 4	Nível de desempenho de manobra	27
Tabela 5	Nível de desempenho em inatividade/ <i>standby</i>	27
Tabela 6	Classificação de eficiência energética	28
Tabela 7	Trânsito de potência do circuito	47
Tabela 8	Parâmetros do estudo de radiação solar PVGIS	57
Tabela 9	<i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> do simulador de eficiência energética	62
Tabela 10	Classe energética antes e após as implementações consoante a categoria de utilização	70
Tabela 11	Tabela das características do ascensor	72
Tabela 12	Consumo e Classe energética do ascensor antes e após as implementações	75
Tabela 13	Consumo e Classe do ascensor antes e após as implementações	76
Tabela 14	Indicadores da análise económica do projeto – Cenário 1	77
Tabela 15	Características fotovoltaicas dos módulos solares	78
Tabela 16	Consumo e classe energética do ascensor antes e após as implementações	79
Tabela 17	Consumo e classe energética do ascensor antes e após as implementações	80
Tabela 18	Indicadores da análise económica do projeto – Cenário 2	81
Tabela 19	Parâmetros do ascensor de teste	83
Tabela 20	Limites de consumo eléctrico diário para obtenção da classe energética – Cenário padrão	86

Tabela 21	Limites de consumo elétrico diário para obtenção da classe energética – Cenário 1	89
Tabela 22	Limites de consumo elétrico diário para obtenção da classe energética – Cenário 2	92
Tabela 23	Tabela resumo das soluções apresentadas	105

Siglas e acrónimos

A	–	Ampere
AC	–	<i>Alternating Current</i>
ADENE	–	Agência para a Energia
DC	–	<i>Direct Current</i>
HAWT	–	<i>Horizontal Axis Wind Turbine</i>
IGBT	–	<i>Insulated Gate Bipolar Transistor</i>
IDE	–	<i>Integrated Development Environment</i>
ISO	–	<i>International Organization for Standardization</i>
MR	–	<i>Machine Room</i>
MRL	–	<i>Machine RoomLess</i>
PVGIS	–	<i>Photovoltaic Geographical Information System</i>
RESP	–	Rede Elétrica de Serviço Público
TIR	–	Taxa Interna de Rentabilidade
V	–	Volt
VAL	–	Valor Atual Líquido
VAWT	–	<i>Vertical Axis Wind Turbine</i>
VVVF	–	<i>Variable Voltage Variable Frequency</i>

W – Watt

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Ao longo dos últimos anos tem-se verificado, por parte de algumas marcas de fabricantes de ascensores, a preocupação constante no impacto que os seus produtos têm em relação a consumos de funcionamento e, por conseguinte, na eficiência energética dos mesmos. Com a introdução da norma ISO 25745, que qualifica a eficiência energética dos ascensores, os fabricantes verificaram um aumento substancial de exigência na qualificação, quando comparado com a anterior norma alemã VDI 4707:2009. Assim, os fabricantes vêem-se obrigados a procurar novos meios de poupança de energia com o objetivo de obter uma qualificação de eficiência energética tão alta quanto possível.

A evolução da tecnologia no que toca a meios de redução de consumo exigido à rede durante o funcionamento em manobra de um ascensor (quando se encontra em movimento a servir os diversos patamares) tem sido notável, não só a nível da força motriz (tipo de tecnologia da máquina) como também o controlo da própria força motriz, por exemplo através do variador de frequência (*Variable Voltage Variable Frequency – VVVF*) tratando-se de um conversor de potência que, entre outros atributos, controla de forma mais eficaz a máquina do ascensor. Porém, focando no variador de frequência, apesar de este reduzir o consumo do sistema de elevação durante a manobra, dispõe de uma desvantagem bastante relevante: o consumo residual necessário ao seu funcionamento quando o ascensor se encontra em inatividade/*standby* (para garantir a prontidão do

sistema do elevador quando é efetuada uma chamada num patamar). Uma vez que este valor afeta principalmente o sistema quando este não se encontra em manobra, é possível constatar que os consumos de energia totais de elevadores que dispõem uma categoria de utilização diária mais baixa (tendo como base a norma ISO 25745, refere-se à frequência de utilização do elevador, isto é, o número de viagens efetuadas diariamente) estejam mais suscetíveis a uma variação de consumos quando o sistema se encontra em inatividade/*standby*. Assim, elevadores com categorias de utilização baixa poderão ter uma classe energética final mais baixa devido ao consumo residual presente durante a inatividade/*standby* (a iluminação, a ventilação, o comando, o sistema de comunicação de emergência e, principalmente, o variador de frequência).

O variador de frequência é então, em alguns casos, o componente com maior potencialidade de afetar o consumo do elevador quando este se encontra parado, pelo que a redução ou eliminação integral do seu consumo potencializaria uma melhoria não só significativa em consumos anuais solicitados à rede por parte do sistema como também na classificação de eficiência energética final do sistema (tendo como pressuposto que o consumo considerado é o solicitado à rede do edifício – e por sua vez à RESP – por parte do sistema elevador+renováveis). Alguns elevadores que possuem variador de frequência dispõem de um modo denominado “*Sleep*” que tem como principal objetivo a redução residual do consumo para valores baixos. Porém, este modo prejudica a disponibilidade imediata do sistema para responder a uma chamada de um patamar, afetando negativamente o tempo de espera do utilizador do elevador. Torna-se então praticamente impossível obter, nestes sistemas com VVVF, um consumo praticamente nulo em inatividade/*standby* e, nas mesmas circunstâncias, uma disponibilidade imediata para atender as chamadas do utilizador.

1.2. OBJETIVOS

A presente tese estuda a possibilidade de alimentar com fontes de energias alternativas o sistema do elevador quando este se encontra principalmente em inatividade/*standby* com

o intuito de reduzir ou até mesmo anular integralmente a necessidade de energia proveniente da rede elétrica AC do edifício onde se encontra instalado.

Assim, todos os componentes associados ao consumo do ascensor quando se encontra em *standby* poderão ser alimentados através da energia proveniente de outras fontes que não a rede elétrica doméstica, e, por conseguinte, poderá existir uma redução de consumo exigido à rede elétrica pública (RESP). A alimentação externa terá como origem fontes de energia renováveis, nomeadamente a energia eólica e a energia fotovoltaica, sendo feito um estudo das condições de vento e luz solar e de alguns cenários possíveis de implementação.

Com esta supressão de eletricidade requerida à rede elétrica do edifício, é estudada a potencialidade de melhoria da classificação energética do sistema do ascensor, tendo como referência a norma ISO 25745. Para isso será feita uma simulação recorrendo a uma folha de cálculo para comprovar as alterações referentes à classificação energética antes e após terem sido implementadas as alterações programadas neste projeto. Complementarmente, serão efetuadas mensurações a um ascensor de teste real antes e depois das intervenções de modo a verificar se o projeto é viável.

Adicionalmente, pretende-se elaborar um *software* para plataforma móvel *smartphone* com sistema operativo *Android* onde o utilizador possa fazer não só a simulação de consumo de energia diário/anual do seu ascensor, como também a classificação energética final do mesmo de um modo simples “na palma da mão” (tendo como base a norma ISO 25745) antes e após terem sido feitas as implementações estudadas neste documento. Com isto, é pretendido uma ferramenta que auxilie o processo de decisão na escolha de uma das implementações no sistema do ascensor estudadas para um potencial de redução de consumo e de melhoria de classe energética.

1.3. ESTRUTURA DA TESE

A presente tese dispõe de 6 capítulos estando eles distribuídos da seguinte maneira:

No presente capítulo, o capítulo 1, é feita uma breve introdução ao tema estudado, são ditados os objetivos pretendidos e é explicitada a estrutura do documento.

No capítulo 2 é detalhado o Estado da Arte referente aos diferentes temas referidos ao longo do documento, nomeadamente o ascensor, a energia eólica e fotovoltaica, a eficiência energética nos ascensores e as normas a esta associadas, entre outros.

No capítulo 3 são discriminadas as etapas iniciais e preparações para a elaboração do projeto estudado neste documento.

No capítulo 4 é efetuada a análise e simulações propriamente ditas das intervenções estudadas e são obtidos os valores finais das mensurações efetuadas nos testes com e sem implementações.

No capítulo 5 é detalhado o processo da elaboração do *software* para *Android* de simulador de eficiência energética e validação do mesmo.

Por fim, no capítulo 6 são ditadas as conclusões do projeto e enumeradas as possíveis implementações futuras.

2. ESTADO DA ARTE

Neste capítulo será feito um enquadramento do ascensor, os tipos de ascensores existentes, a sua evolução ao longo dos anos, os constituintes do seu sistema, entre outros. Será também efetuada uma introdução ao tema da eficiência energética nos ascensores, às normas e legislação a esta associadas, bem como a apresentação de um estudo referente ao impacto que os ascensores podem ter no consumo de eletricidade em edifícios (E4). Para finalizar, serão ainda detalhados alguns aspetos relativos ao uso dos dois tipos de energias renováveis a serem utilizados futuramente neste projeto e será feita uma breve introdução a alguns conversores de potência, também referidos no estudo em causa.

2.1. O ASCENSOR

O ascensor trata-se de um dispositivo usado para efetuar transporte vertical de pessoas e mercadorias sendo já utilizado há muitos anos. Remontando ao século III AC, os ascensores dispunham de força motriz proveniente de humanos, animais ou água. Segundo *Vitruvius*, o matemático grego *Archimedes* criou o ascensor primitivo em 236 A.C. utilizando cabos enrolados à volta de um tambor e rodado pela força do Homem. [1]

Em 1743, foi criado para o rei Luís XV um ascensor com contrapeso com o intuito de ligar os seus aposentos aos da sua amante Madame de *Chateauroux* situados a um piso superior

no Palácio de Versalhes. Do mesmo modo, também foi criada uma “mesa flutuante” que permitiria uma plataforma elevatória transportar a refeição da cozinha no piso inferior para a sala de jantar onde se encontrava o rei e os seus convidados sem a intrusão dos seus servos.

Em meados do século XIV, os ascensores funcionavam com o recurso a vapor ou a água tendo sido colocados à venda, porém, o cabo a eles acoplado poderia ficar desgastado ou destruído, pondo a segurança dos utilizadores em risco. Em 1846, William Armstrong apresentou o guindaste hidráulico e no início da década de 70, as máquinas hidráulicas começaram a substituir os ascensores movidos a vapor. O sistema hidráulico era constituído por um pistão (acoplado a uma plataforma) movimentado dentro de um cilindro, impulsionado pela pressão de um meio líquido, nomeadamente água ou óleo, produzida por uma bomba.

Para ultrapassar os problemas de segurança apresentados pelos ascensores nessa época, em 1852, *Elisha Graves Otis* inventou um sistema de travagem de segurança para o ascensor. Este dispositivo permitia a paragem da cabina em segurança no caso de uma quebra por parte dos cabos de suspensão, através do acionamento de linguetes forçando-os em posição com cremalheiras na lateral do eixo do ascensor. Este sistema permitiu o aumento de segurança, pelo que a confiança por parte do público aumentou também. De facto, o sistema foi de tal modo revolucionário que até hoje a ideia principal se encontra presente nos sistemas atuais de “paraquedas” dos ascensores. Em 1857, a empresa de *Otis* começou a produzir ascensores para passageiros, instalando o primeiro ascensor público numa loja de 5 pisos em Nova Iorque recorrendo a uma máquina a vapor.

Nos finais do século XIX, o primeiro ascensor elétrico foi fabricado pelo alemão *Werner von Siemens* em 1880, porém *Alexander Miles* patenteou-o em outubro de 1887. Em 1889 surgiu o ascensor elétrico com motor de engrenagem direto, enquanto no início do século XX foi evoluído para o motor sem caixa redutora acoplada, permitindo a construção de edifícios com mais de uma centena de andares. Surgiram ainda as máquinas de velocidade variável para substituir as de uma única velocidade e os sistemas de ascensores sem casa das máquinas (*Machine Roomless – MRL*). [2][3]

Atualmente, a diretiva 2014/33/EU de 26 de fevereiro de 2014, que tem como âmbito a harmonização da legislação dos Estados-Membros respeitante a ascensores e componentes de segurança para ascensores, define “ascensor” como sendo “ (...) um aparelho de elevação que serve níveis definidos por meio de um habitáculo que se desloca ao longo de guias rígidas e cuja inclinação em relação à horizontal é superior a 15°, ou um aparelho de elevação que se desloca segundo um trajeto perfeitamente definido no espaço, mesmo que não se desloque ao longo de guias rígidas”.

Os ascensores podem ser divididos em duas grandes categorias tendo em conta o seu modo de acionamento: ascensores elétricos (ou de tração ou de roda de aderência) ou ascensores hidráulicos de ação direta ou indireta.

2.1.1. ASCENSORES ELÉTRICOS

Os ascensores elétricos são sistemas em que a cabina é suspensa por meio de cabos de tração conectado no outro extremo (normalmente) a um contrapeso. Estes deslocam-se graças ao movimento de rotação da roda de tração (polia com gornes) acoplado à máquina elétrica, habitualmente com posicionamento superior relativamente à cabina, como pode ser observado na figura 1.

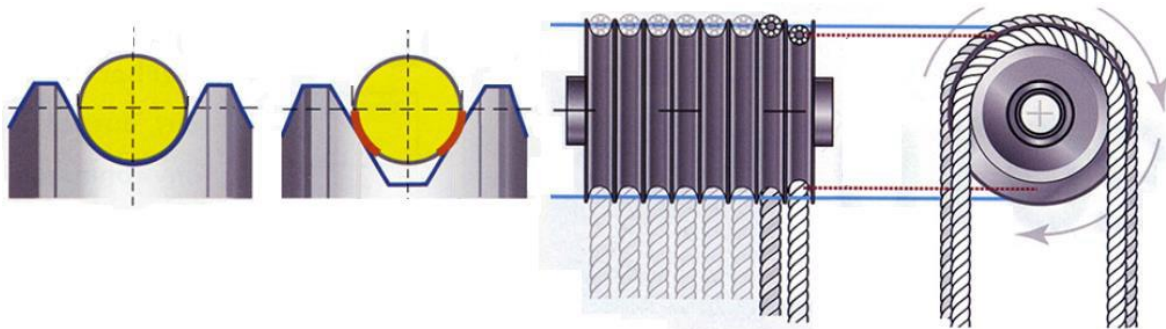


Figura 1 Sistema de polia e gornes de uma máquina de ascensor [4]

Comparativamente aos ascensores de sistema hidráulico, os ascensores elétricos mais recentes têm como vantagem consumir menos energia elétrica para o seu funcionamento quando a cabina toma o sentido ascendente e atingir velocidades nominais superiores.

Um ascensor é constituído por milhares de peças, todas necessárias ao bom funcionamento integral do sistema. Dentro dos mais diversos elementos constituintes do ascensor elétrico (ou de tração), e para uma futura compreensão rápida do funcionamento do mesmo, destacam-se de seguida uns dos mais importantes, sendo enumeradas algumas definições do sistema integral:

Amortecedores – Componentes instalados na base da caixa do ascensor (poço), na cabina ou no contrapeso. O principal intuito deste componente é a limitação do curso da cabina no piso extremo inferior numa situação em que a paragem sofre uma falha e a cabina ultrapassa o primeiro piso.

Cabina – habitáculo onde é efetuado o transporte de pessoas e/ou mercadorias. Encontra-se normalmente assente numa plataforma metálica constituída por peças metálicas, soldadas ou aparafusadas, e envolvida por uma arcada metálica onde é suportado o seu peso durante o transporte. É nesta arcada onde a cabina desliza através de guias em forma de “T” colocadas na parede da caixa do ascensor.

Cabos de tração – como referido em cima, suportam a cabina e o contrapeso passando pelos gornes da polia (roda de tração) acoplada ao motor do ascensor.

Caixa do ascensor – espaço onde o ascensor e o contrapeso podem-se deslocar, alojando também os amortecedores, as portas de patamar e as guias do ascensor e contrapeso. No caso de se tratar de um sistema MRL (*Machine RoomLess*) a máquina do ascensor também se encontra situada na caixa do mesmo, normalmente no topo.

Contrapeso – componente utilizado para contrabalançar as cargas da cabina, com o intuito de reduzir o esforço mecânico do motor. Por norma, dispõe de uma massa superior à da cabina quando esta se encontra vazia.

Sistema de tração – dispositivo que promove a força motriz necessária ao movimento ascendente e descendente da cabina do ascensor elétrico através do funcionamento do motor por sua vez acoplado à polia com gornes onde se encontram os cabos de tração (roda de aderência).

Portas de patamar – as portas são instaladas em todos os acessos de patamar que o ascensor serve, tendo como principal objetivo impedir a queda de pessoas e objetos para a caixa do mesmo quando não se encontra situado nesse patamar.

Sistema de Comando – sistema programável que gere o movimento do ascensor bem como as chamadas do mesmo. Adicionalmente também monitoriza todos os dispositivos de segurança do sistema do ascensor. Encontra-se, normalmente, situado na casa das máquinas junto à máquina do ascensor ou, no caso de ser do tipo *MRL*, no último piso adjacente à porta de patamar. [4]

Como já foi mencionado, o ascensor elétrico desloca-se através do movimento dos cabos de tração e da rotação da roda de tração a eles ligados. Os cabos são constituídos por fios de aço envolvidos em forma helicoidal, no entanto, atualmente os cabos já são substituídos por cintas de aço revestidas a borracha. Poderão ser acoplados no topo da arcada da cabina ou passarem por rodas de desvio situadas também na arcada, dependendo do tipo de suspensão (uma suspensão 1:1 para o primeiro caso e uma suspensão diferente de 1:1 no segundo). Uma suspensão diferente de 1:1 tira partido de um fenómeno físico designado por “Vantagem Mecânica” onde o sistema de cabos sofre uma desmultiplicação de forças tendo como resultado um menor esforço por parte da máquina do ascensor tal como pode ser verificado no exemplo da figura 2. [5]

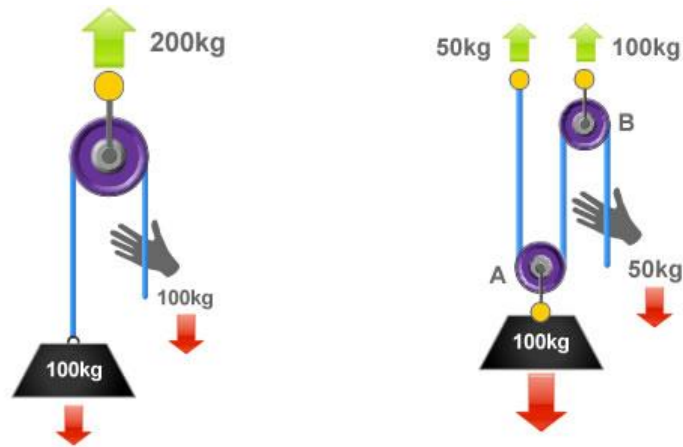


Figura 2 Vantagem mecânica (Suspensão 1:1 e 2:1, respetivamente) [5]

Relativamente à força motriz, com o decorrer dos anos a máquina, neste tipo de sistema, tem vindo a sofrer alterações não só em termos do seu aspeto físico como também em termos de modo de funcionamento. Por norma, as máquinas utilizadas para movimentar o ascensor são do tipo corrente alternada com alimentação trifásica. As primeiras máquinas a existir desta natureza eram do género assíncronas (ou de indução), sendo atualmente ainda usadas em muitas instalações.

O modo de funcionamento destas máquinas baseia-se no fenómeno eletromagnético da indução elétrica. De um modo sistemático, as correntes que percorrem os enrolamentos do estator da máquina criam um campo magnético girante que por sua vez atua sobre o enrolamento rotórico, induzindo-lhe uma força eletromagnética e criando uma corrente rotórica nos enrolamentos. Pela lei de Lenz, o rotor tenderá a rodar no mesmo sentido e velocidade aproximada do campo girante do estator (velocidade de sincronismo), no entanto com um deslizamento (originando uma velocidade de rotação menor que a de sincronismo) de forma a anular a causa do aparecimento dessas correntes rotóricas, criando assim o movimento da máquina. [6]

A este tipo de máquinas é acoplada uma caixa de velocidades redutora com a finalidade de transformar a velocidade da máquina (próxima da velocidade de sincronismo) em velocidade inferior e com binário superior para transmitir para a roda de tração que por sua vez proporcionaria o movimento dos cabos do ascensor nos seus gornes. Estas

máquinas assíncronas são conhecidas pela sua boa robustez e baixa manutenção, não obstante dispõem de uma elevada corrente de arranque, obrigando a instalação elétrica a possuir um dimensionamento mais exigente. Para ultrapassar esta condição, recorre-se ao sistema de arranque estrela-triângulo, onde as ligações rotóricas da máquina se encontram dispostas em estrela durante o arranque e posteriormente colocadas em triângulo (quando a velocidade da máquina se encontrava perto da velocidade nominal), permitindo uma redução de corrente de arranque considerável [7]

Com o surgimento da máquina síncrona (velocidade da máquina igual à velocidade de sincronismo) de ímanes permanentes sem caixa redutora (sistema *gearless*, onde a transmissão da máquina até à polia de tração é feita diretamente) e do variador de frequência, foi possível a redução das dimensões necessárias do local para instalar o motor do ascensor. Assim, atualmente, o tipo de sistema de ascensão elétrica (tração) já não requer uma divisão dedicada para o posicionamento da máquina do ascensor (casa das máquinas), podendo esta estar situada na própria caixa. Este tipo de sistema é conhecido por *Machine RoomLess* (MRL), sendo ilustrada a comparação entre os dois tipos na figura 3.

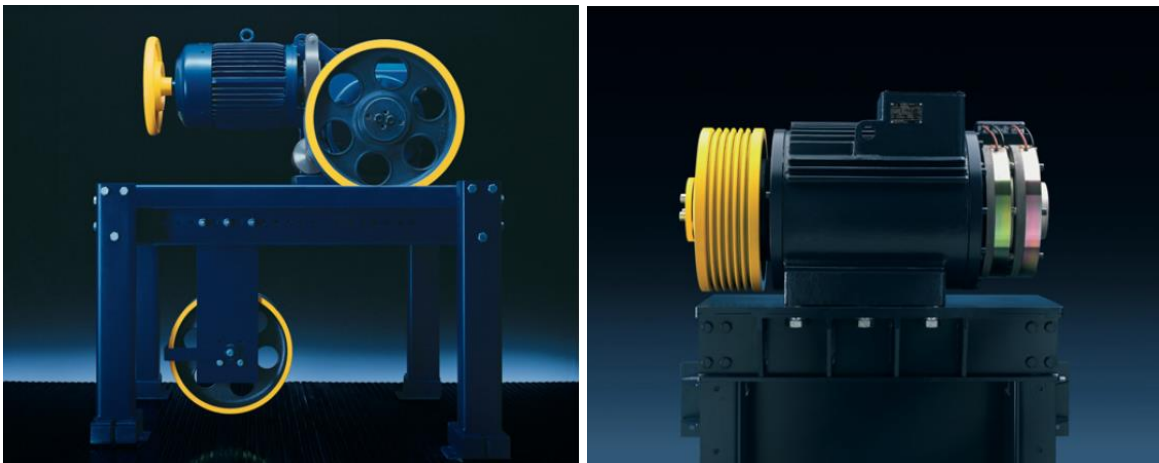


Figura 3 Máquina com caixa redutora e máquina sem caixa redutora, respetivamente [8]

O sistema de controlo comanda a máquina de forma a que funcione num sentido ou noutro tendo em conta a necessidade de deslocação da cabina. O contrapeso, como já referido, encontra-se sobredimensionado em relação à cabina quando vazia pelo que a deslocação ascendente desta requer menos energia elétrica por parte da máquina.

No final de uma viagem, quando a cabina chega ao patamar com utilizadores, as portas de acesso abrir-se-ão. O sistema de portas pode ser do tipo manual (quando o utilizador poderá abrir a porta de batente manualmente apenas quando o sistema deteta o ascensor ao piso e a porta se encontra desbloqueada), do tipo automático (onde o sistema abre a porta automaticamente quando o ascensor se encontra no patamar, através do motor dedicado para tal efeito) ou do tipo onde existe ambas as portas: manual de batente no patamar e automática na cabina. [4]

2.1.2. ASCENSORES HIDRÁULICOS

É um sistema de ascensão cuja cabina é deslocada através do movimento vertical de um pistão a ela acoplado, direta ou indiretamente. O funcionamento caracteriza-se pela compressão de um fluido (normalmente óleo), dentro do cilindro onde se encontra o pistão, através do acionamento de uma bomba hidráulica rotativa.

O ascensor hidráulico partilha, em certa parte, os mesmos elementos com o ascensor elétrico entre eles a caixa do ascensor, a cabina, o sistema de portas de patamar e sistema de controlo (comando). Uma das principais distinções entre ambos os sistemas é o sistema de força motriz. O sistema de propulsão de um ascensor hidráulico é constituído pelo motor elétrico (que por sua vez se encontra acoplado à bomba hidráulica), pelo reservatório do fluido e pela válvula de retorno. Este sistema encontra-se normalmente situado numa casa das máquinas ou no poço do ascensor (quando se trata de um sistema MRL). Poder-se-á considerar também nesta categoria de propulsão o cilindro e o pistão, pese embora não estarem situados na casa das máquinas. Na figura 4 encontram-se discriminados parte dos componentes de um sistema hidráulico típico.

Quando se pretende o movimento ascendente da cabina, o motor acoplado à bomba hidráulica entra em funcionamento e inicia a injeção de fluido do reservatório para o cilindro, forçando o pistão a subir. Após o percurso estar concluído, o motor da bomba é desativado e a cabina mantém-se imóvel. Por outro lado, quando se pretende a descida da cabina, é aberta uma válvula de retorno do fluido e, através da força da gravidade imposta à cabina, o pistão a esta acoplado tomará um movimento descendente forçando o fluido a

deslocar-se do cilindro para o reservatório. Nesta fase o consumo do sistema de propulsão tomará um valor praticamente desprezável, uma vez que a máquina acoplada à bomba hidráulica não se encontra em funcionamento.

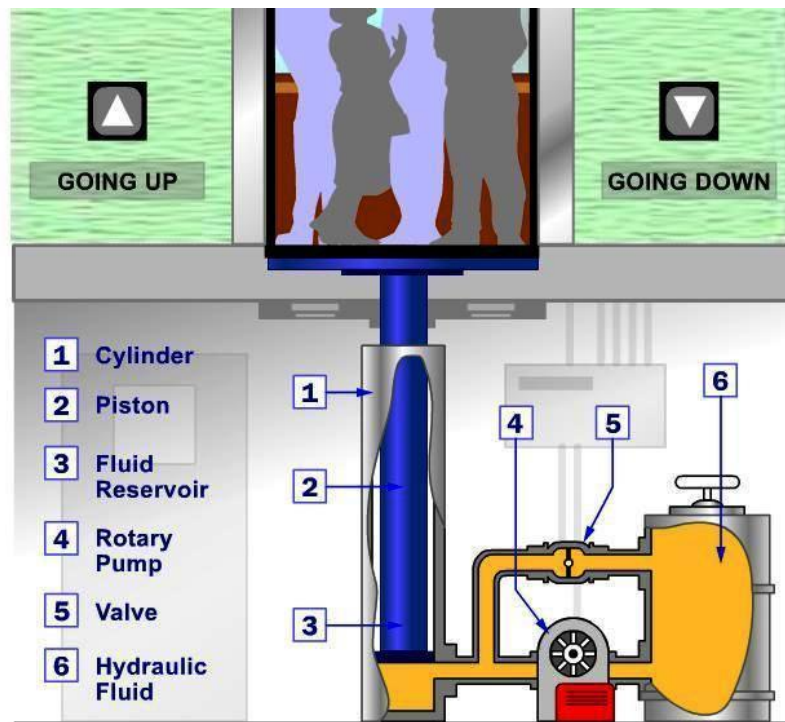


Figura 4 Elementos de um sistema de propulsão hidráulico [9]

Tal como já foi referido em cima, os ascensores hidráulicos podem ser do tipo ação direta ou ação indireta. Quando se trata de ação direta, o pistão do sistema de elevação encontra-se acoplado diretamente à cabina, podendo ser do tipo *In-Ground* (quando o cilindro se encontra soterrado no terreno inferior ao poço do elevador e o pistão se encontra acoplado à zona inferior da cabina) ou do tipo *Holeless* (quando a suspensão da cabina é feita por dois pistões laterais e os respetivos cilindros se encontram instalados nas paredes laterais da caixa do elevador), representados na figura 5.

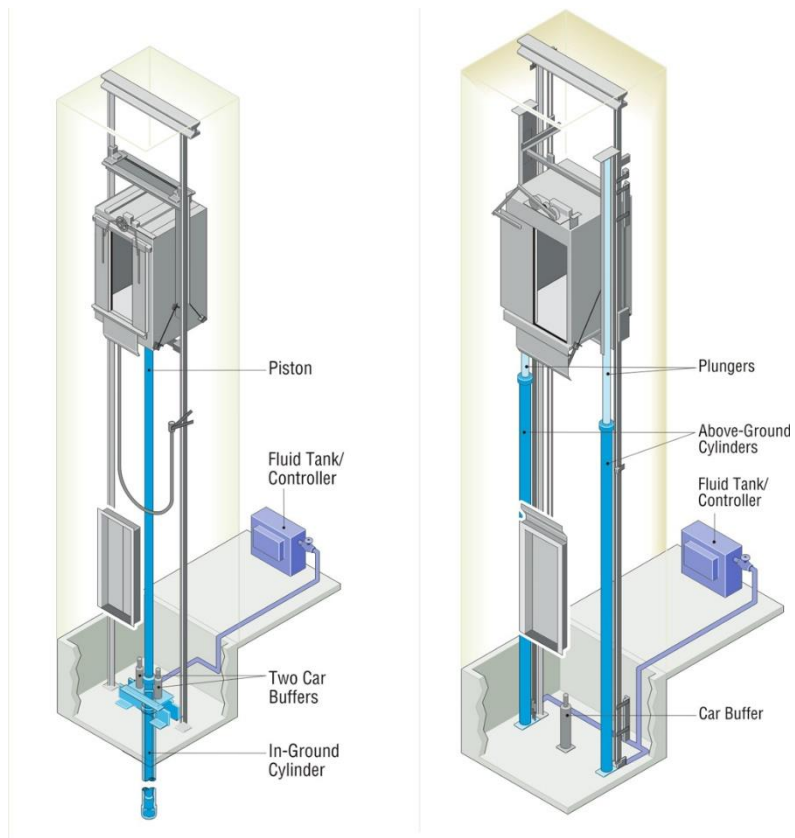


Figura 5 Ascensores hidráulicos de ação direta: *In-Ground* e *Holeless* [10]

Na situação do sistema se tratar do tipo ação indireta, a cabina e o pistão não têm uma ligação direta, sendo a junção garantida por meio de cabos de aço que percorrem os gornes de uma polia situada no topo do pistão, podendo garantir uma suspensão 1:2 (a velocidade da cabina será o dobro da velocidade de deslocação do pistão) tal como é representado na figura 6. Assim, não existe a necessidade da presença de cilindros soterrados no solo pelo que é garantido um maior percurso por parte da cabina. O cilindro encontra-se instalado na parede lateral da caixa havendo ainda a possibilidade de se adicionar um segundo cilindro, na lateral oposta, para cabinas com cargas mais exigentes. [4]

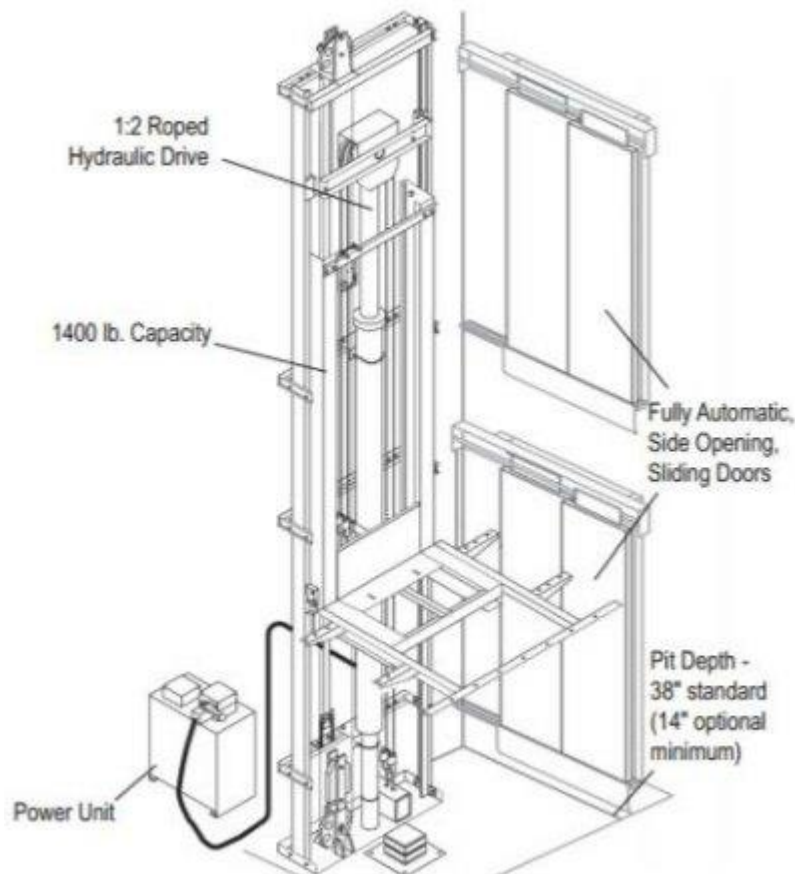


Figura 6 Ascensor hidráulico de ação indireta [11]

2.1.3. ELÉTRICOS VS HIDRÁULICOS

Nos últimos anos, a instalação de ascensores hidráulicos tem vindo a decair em detrimento da instalação de ascensores elétricos de tração. O conforto de viagem e a suavidade de paragem característicos deste tipo de tecnologia hidráulica foram igualados ou até mesmo superados pela tecnologia de tração, com a introdução das máquinas síncronas de ímanes permanentes sem caixa redutora (complementarmente com o variador de frequência). Com a utilização do variador de frequência como intermediário entre a rede elétrica trifásica e os terminais da máquina, foi possível garantir um funcionamento mais estável do sistema de tração, reduzindo os valores das correntes de arranque e por conseguinte os consumos de eletricidade em manobra, sem comprometer o conforto e as velocidades nominais relativamente altas.[12]

Como já foi anteriormente referido, os ascensores de tração instalados nas décadas passadas requeriam a instalação da máquina do ascensor numa divisão dedicada para esse efeito, a casa das máquinas. Esta situação exigia a construção dessa divisão adicional por parte do construtor do edifício durante a obra, de modo que o ascensor hidráulico em alguns casos acabaria por ser uma solução mais apelativa tanto em questões arquitetónicas como em termos económicos. Porém, com a introdução da diretiva ascensores (diretiva 1995/16/CE de 29 de junho) deixa de existir a necessidade da instalação da máquina do ascensor de tração numa divisão distinta, podendo agora ser alojada na própria caixa do ascensor, no topo acima da cabina ou no poço abaixo da cabina. De facto, com esta solução arquitetónica, o ascensor hidráulico deixa de ser tão apelativo, tornando-se, o ascensor elétrico, numa proposta mais atrativa para os construtores dos edifícios, uma vez que anula a necessidade de um patamar superior adicional.

O sistema de ascensor hidráulico está ainda limitado a uma distância de curso bastante reduzida quando comparado com o sistema elétrico de tração, pelo que não pode ser instalado em edifícios de grande altura (figura 7). Ainda como desvantagens tem-se a baixa eficiência e o elevado consumo de energia em funcionamento, bem como a baixa velocidade nominal. Estes fatores acabam por se tornar impeditivos para muitos casos de edifícios de grande altura e/ou com tráfego de utilização elevado.

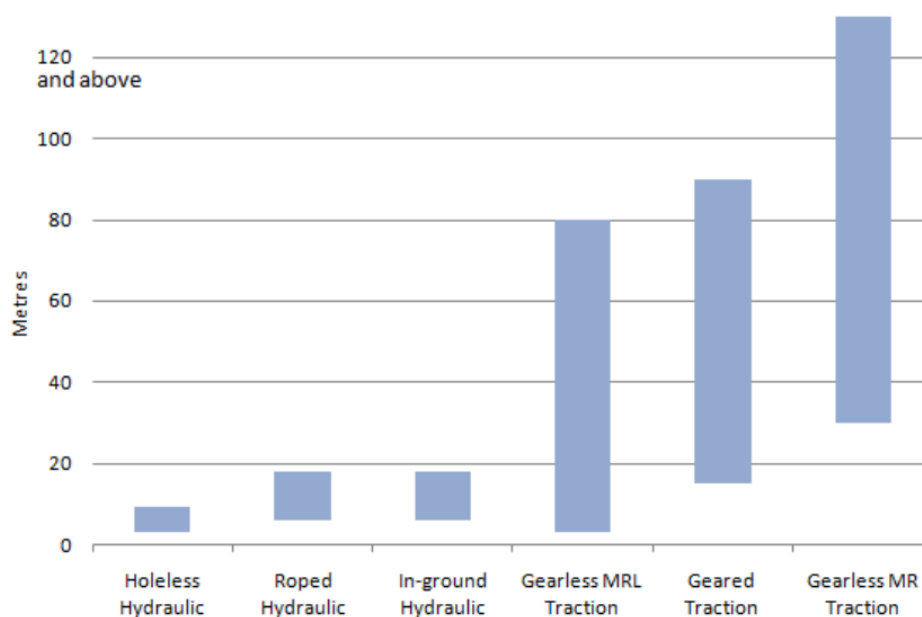


Figura 7 Comparação de percursos máximos entre diferentes tipos de ascensores [13]

2.2. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O conceito de eficiência energética é normalmente definido como o uso da energia de uma forma responsável, consumindo menos energia sem abdicar do conforto já existente. Apesar de a sociedade se deparar com um aumento constante de tecnologia e, por conseguinte, um eventual aumento de consumo energético, não existe a necessidade de um condicionamento de recursos para se obter uma redução de energia gasta. Segundo a ADENE (Agência para a Energia) a eficiência energética é a otimização que se realiza no consumo de energia, pelo que é necessário atuar não só numa base de otimização do sistema consumidor evitando ao máximo as perdas, como também no próprio consumo por parte do utilizador final.

2.2.1. LEGISLAÇÃO

Segundo a diretiva 2012/27/UE de 25 de outubro (relativa à eficiência energética, que altera as Diretivas 2009/125/CE e 2010/30/UE e revoga as Diretivas 2004/8/CE e 2006/32/CE), o Conselho Europeu de 8 a 9 de março de 2007 apelou à necessidade de existir um aumento significativo na eficiência energética na União Europeia de modo a cumprir-se o objetivo ambicioso definido para uma redução de 20% do consumo de energia primária até 2020 (“Estratégia Europa 2020”).

As conclusões do Conselho Europeu de 17 de junho 2010 confirmam que a eficiência energética é um dos grandes objetivos da nova estratégia da União para o emprego e um crescimento inteligente, sustentável e inclusivo. A fim de cumprir esse objetivo no plano nacional, os Estados-Membros deverão definir objetivos a nível interno e indicar nos seus programas nacionais de reforma como tencionam alcançá-los. Nas conclusões do Conselho Europeu de 4 de fevereiro de 2011 foi reconhecido que o objetivo de eficiência energética previamente definido não está em vias de ser cumprido, pelo que é necessária uma ação determinada para explorar o considerável potencial existente no que respeita a maiores economias de energia nos edifícios, entre outros.

Uma comunicação sobre o Plano de Eficiência Energética adotada pela Comissão, a 8 de março de 2011, veio confirmar que a União não está no bom caminho para atingir o seu

objetivo de eficiência energética, apesar da evolução registada a nível das políticas nacionais de eficiência energética delineadas nos primeiros Planos de Ação Nacionais em matéria de Eficiência Energética apresentados pelos Estados-Membros em cumprimento dos requisitos estabelecidos na Diretiva 2006/32/CE do Parlamento Europeu e do Conselho (relativa à eficiência na utilização final de energia e aos serviços energéticos e que revoga a Diretiva 93/76/CEE do Conselho). A fim de obviar a situação, o Plano de Eficiência Energética de 2011 enumerou uma série de políticas e medidas de eficiência energética que abrangem toda a cadeia energética, incluindo os edifícios.

Tendo em consideração que nas conclusões do Conselho de 10 de junho de 2011, relativas ao Plano de Eficiência Energética de 2011, foi salientado que os edifícios representam 40% do consumo de energia final da União, os Estados-Membros deverão estabelecer uma estratégia a longo prazo para além de 2020 para a mobilização de investimento na renovação de edifícios residenciais e comerciais, tendo como objetivo melhorar o desempenho energético do parque mobiliário.

Nos últimos anos, com o crescimento do sector, tem aumentado a atenção com que o consumo energético do ascensor poderá afetar num edifício. Sabendo que o consumo do ascensor pode representar entre 3 e 5% do consumo de energia de um edifício, não é de descartar a preocupação na sua redução. No Decreto-Lei nº 118/2013 (decreto que aprova o Sistema de Certificação Energética dos Edifícios, o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços) o ascensor é considerado como fazendo parte do sistema técnico do edifício pelo que o seu consumo energético deverá ser disponibilizado para parcela de cálculo para futura emissão do Certificado Energético do Edifício.

Com a entrada em vigor do Decreto-Lei nº 118/2013 e da portaria nº 349-D/2013 (portaria que estabelece os requisitos de conceção relativos à qualidade térmica da envolvente e à eficiência dos sistemas técnicos dos edifícios novos, dos edifícios sujeitos a grande intervenção e dos edifícios existentes) passa a tornar-se obrigatório o cálculo do desempenho energético do ascensor. Para tal, e uma vez que não existia uma Norma Europeia para o efeito, recorria-se à norma alemã VDI 4707, devendo o resultado da classificação ser no mínimo Classe C. Não obstante, a partir de 1 de janeiro de 2016 a

exigência é aumentada e a classificação mínima passa a ser Classe B, devendo ser comprovada através da emissão de uma etiqueta energética.

No entanto, a norma alemã tem vindo a ser substituída pela Norma ISO 25745 referente ao desempenho energético de ascensores, escadas mecânicas e tapetes rolantes. Esta norma encontra-se dividida em três partes sendo que a primeira estabelece o procedimento de medição e verificação de energia do sistema e a segunda refere-se aos cálculos e à classificação energética dos ascensores. A terceira parte trata os cálculos e a classificação energética de escadas mecânicas e tapetes rolantes, porém não vai ser futuramente detalhada neste documento visto que ultrapassa o âmbito da tese.

A Norma ISO 25745 é atualmente a mais utilizada pelos fabricantes europeus de ascensores no que toca a medições e obtenção do grau de eficiência que o sistema dispõe. A ISO 25745 providencia não só um método consistente de uma estimativa de consumo de energia numa base diária e numa base anual como também um método de classificação de energia de ascensores novos, existentes e modernizados. Tal como já foi anteriormente referido, esta norma encontra-se dividida em três partes sendo que apenas se irá detalhar as duas primeiras, uma vez que são as que se relacionam com o âmbito dos ascensores.

A primeira parte da norma ISO 25745 do ano 2012 refere-se às medições e verificações de energia, dando principal ênfase a alguns conceitos, termos e definições que vão ao encontro do processo de medição propriamente dito. Adicionalmente, é descrito todo o processo de medição e verificação de energia tanto em modo de manobra do ascensor como em modo inativo e *standby*, recorrendo a um medidor de energia. De notar que no caso de se tratar de uma instalação com vários ascensores, cada unidade deve ser medida individualmente, para a obtenção de valores de mensuração e classe energética.

A segunda parte da norma ISO 25745 do ano 2015 refere-se aos cálculos e respetivas classificações de níveis de desempenho energético do sistema do ascensor. Complementarmente, também são explicitados os cálculos das várias parcelas de consumos diários e anuais do ascensor, fornecendo um nível de desempenho energético ao produto, tanto em manobra como em modo de inatividade/*standby*. No final, é classificado o produto integralmente quanto à sua eficiência energética sendo atribuída

uma letra de A a G consoante o nível de desempenho (sendo A o mais eficiente e G o menos eficiente). A norma ISO 25745 será analisada com mais detalhe no subsubcapítulo 2.2.2.

Ao longo dos últimos anos têm vindo a ser feitos estudos da possibilidade de melhoria da eficiência energética nos edifícios, uma vez que estes são capazes de representar até um terço de toda a energia consumida na União Europeia nos setores terciários e residenciais. Uma vez que, tal como já foi anteriormente mencionado, os níveis de conforto têm vindo a aumentar, assim também a energia consumida nestes setores, pelo que torna-se necessário procurar uma solução para a redução imperativa de consumo de energia.

Um estudo designado E4 (*Energy-Efficient Elevators and Escalators*), levado a cabo pelo professor Aníbal de Almeida da Universidade de Coimbra, refere que novos equipamentos com boa eficiência de energia e mudanças comportamentais no uso da energia são um foco importante para aumentar em grande quantidade as poupanças nos setores em estudo. Este estudo consistiu na recolha de informação relativa a consumos de energia referentes a 81 instalações no território europeu das quais 74 eram ascensores, criando uma base de dados aceitável para uma estimativa válida do seu consumo de energia geral.

Dentro dos resultados obtidos pelo projeto E4, um dos parâmetros mais importantes foi o peso significativo que o ascensor tem no seu consumo de energia total quando se encontra em modo *Standby*, sendo que alguns casos, quando neste modo, o consumo pode chegar aos 90% do valor integral, observável na figura 8.

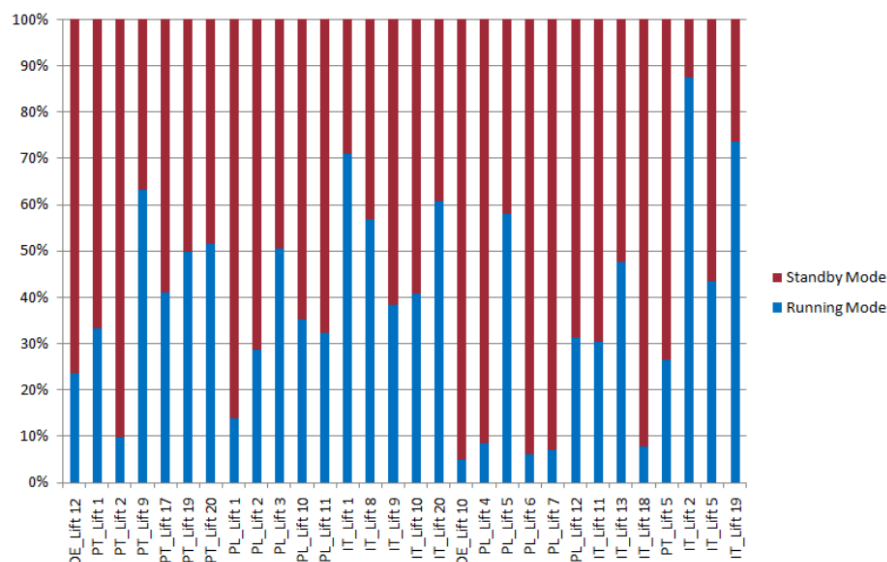


Figura 8 Proporção dos modos de manobra e *standby* em ascensores do sector residencial [13]

A sensibilização através de campanhas e fornecimento de material informativo é uma das principais estratégias defendidas pelo projeto E4 para uma promoção da eficiência energética. As agências nacionais de energia poderão desempenhar uma importante tarefa nestas situações de operação e seleção de ascensores eficientes. Uma outra estratégia sugerida baseia-se na implementação de um sistema de etiquetagem de classe energética no produto, fornecendo informação acessível ao cliente ou outras entidades para uma correta escolha do ascensor como produto final. Adicionalmente, é feita, em colaboração com os instaladores de ascensores, uma definição de valores de indicadores de desempenho de energia mínimos, nomeadamente o consumo máximo da energia em *Standby*, entre outros.

Para haver uma harmonização por parte das medições de consumos energéticos instantâneos em todos os ascensores bem como a previsão do consumo energético diário/anual, tornou-se necessário a implementação de uma norma que auxilie o utilizador a mensurar estes parâmetros. [13][14]

2.2.2. A NORMA ISO 25745 (PARTE I E II)

Para se ter conhecimento do consumo energético não só em manobra como também em inatividade/*standby* e qual a classificação energética de um ascensor é necessário mensurar o seu consumo num prazo alargado (possivelmente um ano), para se obter valores considerados válidos. Porém, nem sempre estas medidas são possíveis, pelo que se torna necessário recorrer a outras metodologias de cálculo de estimativa de consumo do ascensor. Tal como já foi anteriormente referido, a norma ISO 25745 permite estimar estes valores dando a conhecer os valores dos consumos e níveis de desempenho do sistema do ascensor.

Em baixo estão definidos alguns conceitos importantes da norma que futuramente serão utilizados neste estudo:

- Ciclo curto – ciclo durante o qual a cabina vazia viaja pelo menos um quarto da distância do percurso total com o centro do percurso da viagem centrado aproximadamente no ponto intermédio do percurso total. Posteriormente desloca-se para o ponto de partida a uma distância suficiente de modo que a cabina atinja a velocidade nominal em ambas as direções. Neste ciclo devem estar ainda incluídos dois ciclos de portas completos (abertura e fecho de portas). Este ciclo nem sempre é aplicado a todos os ascensores, por exemplo um que sirva somente dois patamares.
- Ciclo de referência – ciclo durante o qual a cabina vazia se desloca desde o patamar terminal inferior até ao patamar terminal superior e, posteriormente, de volta para o patamar terminal inferior, incluindo duas operações de portas.
- Condição de inatividade – condição quando um ascensor se encontra parado num patamar após uma viagem antes do modo de *standby* se ativar.
- Condição de *Standby* – condição quando um ascensor está parado num patamar e poderá estar numa situação de nível baixo de consumo de energia definido para esse ascensor em particular.
- Equipamento auxiliar – equipamento auxiliar do sistema do ascensor nomeadamente iluminação da cabina, ventoinhas, dispositivos de alarme e fonte de bateria de emergência.

- Ponto de acoplamento de alimentação principal – ponto onde as medições da alimentação principal são efetuadas, encontrando-se localizado a jusante do disjuntor principal do ascensor.
- Teste cíclico de patamares terminais – Teste para os ascensores quando a cabina vazia está continuamente a circular entre o patamar terminal inferior e o patamar terminal superior, com a operação de portas ativa. Por outras palavras, trata-se de um ciclo de referência a funcionar continuamente.

Para a obtenção do valor de energia principal consumida durante o funcionamento do ascensor, é necessário medir a energia total durante um número mínimo de ciclos de viagem. Para tal, é necessário colocar o instrumento medidor no ponto de acoplamento definido (figura 9) e colocar o ascensor no modo de teste cíclico de patamares terminais. Este ponto de acoplamento também se aplica nas medições de inatividade e *standby*. Após o sistema efetuar um número mínimo de dez ciclos do teste, é possível parar a medição e para obtenção do valor de consumo do ciclo de referência basta calcular o quociente entre o valor de energia consumida total mensurada e o número de ciclos de teste efetuados.

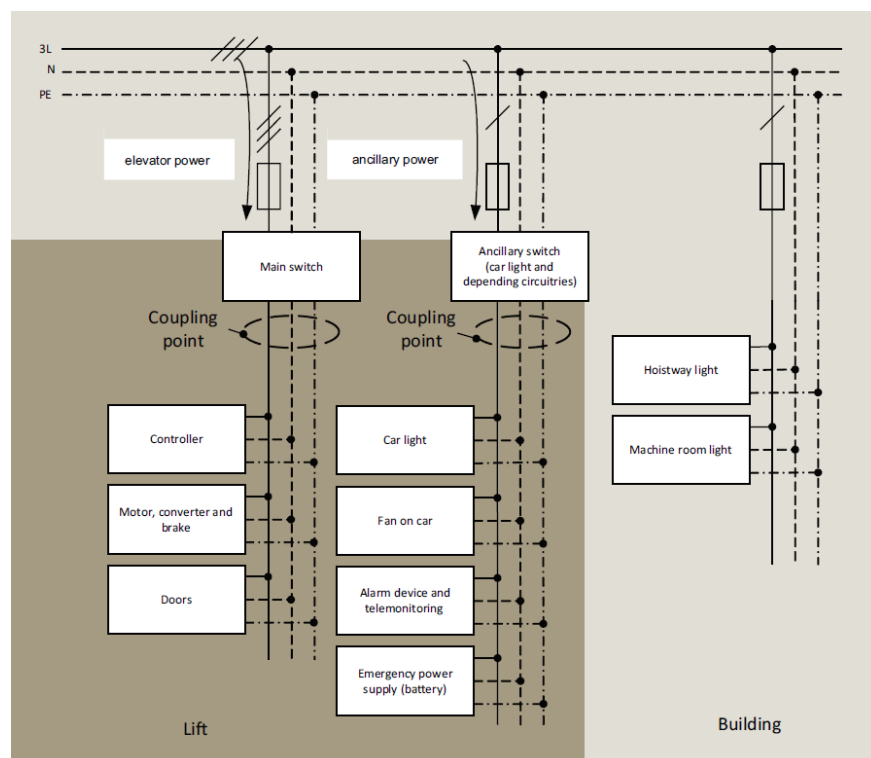


Figura 9 Pontos de acoplamento de instrumentos de medida [15]

Por outro lado, o consumo de energia em modo inativo e *standby* refere-se ao estado do sistema quando a cabina se encontra imobilizada num patamar, logo o sistema de força motriz encontra-se suspenso (isto é, mantém-se pronto para uma eventual chamada de patamar e não se encontra integralmente desligado). Quando se pretende obter a energia consumida durante o modo de inatividade e *standby* é necessário ter em atenção a três parâmetros:

- P_{id} – Consumo instantâneo quando o ascensor se encontra no modo inativo (*idle*), isto é, quando se encontra parado no patamar logo após uma execução do ciclo de referência. A medição é feita durante 1 minuto logo após o término do ciclo.
- P_{st5} – Consumo instantâneo quando o sistema se encontra parado no patamar em *standby* 5 minutos após terminado o ciclo de referência. A medição é feita durante 1 minuto.
- P_{st30} – Consumo instantâneo quando o ascensor se encontra em *standby* passados 30 minutos desde a execução do ciclo de referência. Este valor tem relevância quando o fabricante define um modo de consumo de energia baixo ao final de alguns minutos após uma viagem do ascensor (neste caso 30 minutos).

Todos estes valores anteriores são obtidos através do quociente entre o consumo total medido e o tempo total da medição (normalmente 1 minuto). O valor de consumo instantâneo mais baixo dos 3 parâmetros, será o valor utilizado futuramente para a quantificação do nível de desempenho quando o sistema se encontra em modo inativo/*standby*.

Os parâmetros do ascensor quando em manobra e quando em inatividade/*standby* são considerados fixos, visto que fazem parte das características técnicas do sistema. Porém, a relação entre estes dois modos é variável consoante a intensidade de utilização do sistema, isto é um ascensor num edifício residencial poderá não ter o mesmo número de viagens por dia que um edifício de escritórios ou um centro comercial. Assim, a ISO 25745-2:2015 dispõe de valores pré-definidos do número de viagens que um ascensor efetua por dia com o intuito de categorizar a utilização do sistema e facilitar o estudo da classificação energética (tabela 1).

Tabela 1 Categoria de utilização [16]

Categoria de utilização	1	2	3	4	5	6
Intensidade de utilização / frequência	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito Alta	Extremamente alta
Nº de viagens por dia (nd) (gama típica)	50 (<75)	125 (75 a <200)	300 (200 a <500)	750 (500 a <1000)	1500 (1000 a <2000)	2500 (≥2000)

Tendo em conta o número de patamares servidos pelo ascensor e pela categoria de utilização, a norma dispõe de outra tabela com valores percentuais que terão como resultado a distância média que um ascensor viaja. Este parâmetro é, então, obtido através do produto do valor do percurso total da instalação do ascensor e do valor percentual da tabela 2.

Tabela 2 Percentagem de distância de viagem média [16]

Categoria de utilização	1-3	4	5	6
Número de patamares de paragem	Percentagem de distância de viagem média			
2	100 %			
3	67 %			
>3	49 %	44 %	39 %	32 %

Quando o parâmetro anterior for determinado é possível calcular a energia de manobra do ciclo médio do ascensor, sendo este um dos parâmetros necessários para o cálculo de

energia diária consumida pelo sistema. As restantes parcelas são o fator de carga (variável dependendo do tipo de força motriz do ascensor e contrabalanço que este dispõe) e o número de viagens por dia (podendo ser utilizado o valor disponível na tabela da categoria de utilização – tabela 1).

Por outro lado, é necessário também conhecer o valor de energia consumida durante o não funcionamento do sistema, isto é, no modo inativo e standby. Para tal, é necessário identificar o tempo de não funcionamento diário. A norma indica que a obtenção deste último valor é feita através da subtração do tempo de manobra (obtido através do produto entre o número de viagens por dia do ascensor e do tempo de efetuar uma viagem média, em horas) às horas diárias de serviço/operação do sistema que completam um dia (normalmente 24 horas). Posteriormente, é necessário recorrer aos valores de consumo instantâneo de inatividade mensurados anteriormente (P_{id} , P_{st5} e P_{st30}) para se obter a energia diária consumida durante este intervalo de tempo. As relações de tempo do sistema quando não se encontra em funcionamento dependem da categoria de utilização e é ditada pela tabela 3.

Tabela 3 Relações de tempo nos modos de inatividade e *standby* [16]

Categoria de utilização		1	2	3	4	5-6
Relações de tempo (%)	R _{id}	13	23	36	45	42
	R _{st5}	55	45	31	19	17
	R _{st30}	32	32	33	36	41

A estimativa do valor da energia consumida por dia (E_d) é obtida através da soma da energia consumida em manobra mais a energia em inatividade/*standby*, sendo este parâmetro utilizado para a obtenção da classificação energética final. Por sua vez, é possível obter o consumo anual do ascensor, multiplicando o valor da energia consumida diária pelo número de dias de operação do sistema durante um ano.

Para uma informação mais detalhada, a norma ISO 25745 discrimina a classificação energética final em 3 indicadores sendo estes o nível de desempenho para a manobra, o

nível de desempenho para a inatividade/*standby* e por fim a classificação geral de eficiência de energia do sistema.

A classificação do nível de desempenho para a manobra é obtida tendo em conta o valor da energia específica de manobra para o ciclo de funcionamento médio. É calculado o produto entre o fator de carga e metade do valor da energia de funcionamento do ciclo médio do ascensor, de seguida o quociente entre este último resultado e o produto da carga nominal pela distância de viagem média resultará no valor procurado. Este valor de energia específica será então comparado com os valores limite da tabela 4 e consoante o intervalo que esteja situado, é atribuído o nível de desempenho do ascensor.

Tabela 4 Nível de desempenho de manobra [16]

Energia de funcionamento específica para o ciclo de funcionamento médio (mWh/kg.m)	$\leq 0,72$	$\leq 1,08$	$\leq 1,62$	$\leq 2,43$	$\leq 3,65$	$\leq 5,47$	$> 5,47$
Nível de desempenho	1	2	3	4	5	6	7

Analogamente, quando se pretende obter o nível de desempenho do sistema quando este se encontra em inatividade/*standby*, é comparado o valor mais baixo dos 3 parâmetros de inatividade/*standby* anteriormente obtidos com os valores limite da tabela 5.

Tabela 5 Nível de desempenho em inatividade/*standby* [16]

Consumo em inatividade/ <i>standby</i> (W)	≤ 50	≤ 100	≤ 200	≤ 400	≤ 800	≤ 1600	> 1600
Nível de desempenho	1	2	3	4	5	6	7

Por fim, o desempenho geral do ascensor é classificado comparando o valor da energia diária calculado anteriormente com os valores da tabela 6 tendo em conta os valores limite do nível de desempenho em manobra e de inatividade/*standby* determinados em cima. Os

parâmetros utilizados para o cálculo são o consumo de energia diária (E_d), a carga nominal da cabina (Q), o número de viagens diárias (n_d), a distância de viagem média (s_{av}) e o tempo de não funcionamento (t_{nr}) calculados anteriormente. De notar que o valor do número de viagens pode ser obtido recorrendo à tabela da categoria de utilização ou, caso seja possível, utilizar o valor exato do número de viagens por dia do ascensor.

Tabela 6 Classificação de eficiência energética [16]

Classe eficiência energética	Energia consumida por dia (Wh)
A	$E_d \leq 0,72 \times Q \times n_d \times s_{av}/1000 + 50 \times t_{nr}$
B	$E_d \leq 1,08 \times Q \times n_d \times s_{av}/1000 + 100 \times t_{nr}$
C	$E_d \leq 1,62 \times Q \times n_d \times s_{av}/1000 + 200 \times t_{nr}$
D	$E_d \leq 2,43 \times Q \times n_d \times s_{av}/1000 + 400 \times t_{nr}$
E	$E_d \leq 3,65 \times Q \times n_d \times s_{av}/1000 + 800 \times t_{nr}$
F	$E_d \leq 5,47 \times Q \times n_d \times s_{av}/1000 + 1600 \times t_{nr}$
G	$E_d > 5,47 \times Q \times n_d \times s_{av}/1000 + 1600 \times t_{nr}$

Será esta última classificação que será convertida numa etiqueta e que será atribuída ao ascensor, permitindo assim ter uma referência quanto à sua eficiência energética geral bem como comparar com outros produtos do mercado.

2.3. USO DAS ENERGIA RENOVÁVEIS

2.3.1. ENERGIA EÓLICA E AEROGERADORES

Designa-se por “energia eólica” a conversão da energia cinética proveniente da deslocação do vento em energia de carácter mecânico, graças à rotação das pás do aerogerador (ou turbina eólica). Recorrendo a uma máquina elétrica, nomeadamente um gerador, é possível ainda converter a energia mecânica em energia elétrica, podendo esta ser utilizada para alimentar as mais diversas cargas.

O consumo de energia produzida por estes aerogeradores pode ser efetuado longe do local de produção (parques eólicos) onde a distribuição até ao consumidor final fica ao cargo das

linhas de transporte e distribuição. Por outro lado, existe ainda a possibilidade de uma produção descentralizada ou até mesmo isolada onde a energia eólica produzida é consumida diretamente pelo consumidor sem nenhum intermediário.

Posteriormente, o potencial da energia proveniente do vento foi então alargado para a área da produção de energia elétrica, tendo sido, nos finais do século XIX, acoplado ao rotor do moinho de vento um gerador elétrico capaz de produzir eletricidade em circunstância de existência de vento. [17]

Com o crescimento do conhecimento técnico na área e no seu desenvolvimento, os aerogeradores sofreram alterações quanto à sua potência máxima possível de produzir e quanto à sua fisionomia, possuindo alturas da torre com valores bastante consideráveis. De facto a energia eólica trata-se do tipo de energia com maior quota de produção anual. [18]

Apesar de os aerogeradores de grandes dimensões serem uma das principais fontes de produção de energia renovável para alimentação residencial e industrial, uma outra área onde tem havido bastante procura por parte de consumidores finais como alternativa ao uso parcial ou integral de energia proveniente da RESP é a dos aerogeradores de pequeno porte.

Os aerogeradores de pequeno porte diferem dos demais não só pela questão das suas dimensões como também da potência máxima de produção que lhes é possível fornecer. Estes encontram-se normalmente instalados em ambientes residenciais, ao invés dos aerogeradores de grande porte onde estão normalmente instalados em parques eólicos ou instalados no mar junto à costa, no caso da energia eólica *onshore* e *offshore*, respetivamente. A instalação deste tipo de aerogeradores de dimensões reduzidas é relativamente simples, sendo que existem várias possibilidades de configuração de ligação à rede elétrica residencial, consoante a necessidade do consumidor.

Características e parâmetros da energia eólica

O aerogerador é o componente do sistema responsável em converter a energia cinética contida no vento em energia mecânica através da rotação do rotor com o auxílio das pás. A energia do vento que é possível ser transferida para o conjunto pás+rotor depende de alguns parâmetros, nomeadamente a área do rotor, a densidade do ar e da velocidade do vento. Porém, nem toda a energia cinética do vento pode ser convertida em energia mecânica, segundo um estudo feito por um físico alemão Albert Betz. Quando o vento atinge a zona de ação da turbina, existe uma redução imperativa na sua velocidade, nomeadamente após percorrer a área do rotor, isto é, a jusante do aerogerador.

A Lei de Betz (ou limite de Betz) dita, então, que um aerogerador não é capaz de converter toda a energia cinética em energia mecânica, sendo o seu valor máximo de extração de 16/27, ou seja 0,593. De facto, pese embora se utilizem aerogeradores com os melhores aproveitamentos possíveis, o valor máximo teórico de extração de vento é 0,593, sendo este valor o coeficiente de potência máximo do rotor (C_p). Este parâmetro é o quociente entre a potência mecânica extraída e a potência disponível e, quando em circunstâncias reais, toma valores entre 0,3 e 0,4, podendo ser observada uma redução significativa do aproveitamento da energia cinética do vento. Os fabricantes de aerogeradores, normalmente adaptam a equação anterior de modo a incluir o rendimento do gerador elétrico, pelo que utilizam a equação 1. [19]

$$C_p(u) = \frac{P_e}{P_{disp}} \quad (1)$$

Onde $C_p(u)$ representa o coeficiente de potência para a velocidade u , P_e a potência disponível aos terminais do gerador e P_{disp} a potência disponível para conversão, explicitado a seguir.

A energia cinética do vento é a principal fonte de produção de energia mecânica nos aerogeradores, assim a potência disponível do vento associa a equação geral física da energia cinética ao movimento de uma massa de ar:

$$P_{disp} = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (2)$$

$$P_{disp} = \frac{1}{2} \times (\rho \times A \times v) \times v^2 \quad (3)$$

$$P_{disp} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \quad (4)$$

Como é possível constatar pela equação 4, a potência disponível é diretamente proporcional à densidade do ar (ρ), à área do rotor do aerogerador (A) e à velocidade do vento no local (v), sendo este último parâmetro o mais relevante (uma vez que tem potência de expoente 3). Por esta razão torna-se importante a escolha do local de instalação do aerogerador, onde as características locais de rugosidade do solo, velocidade média e predominância devem ser tomadas em consideração.

Para a obtenção da energia produtível anualmente é possível usar a equação 5, onde é relacionada a frequência de ocorrência de certas velocidades de vento e a potência produzida pelo aerogerador nessas condições.

$$E_a = \sum_{u_0}^{u_{max}} f_r(\bar{u}) \times P_e(\bar{u}) \quad (5)$$

Onde \bar{u} representa a velocidade do vento (em m/s), $f_r(\bar{u})$ representa a frequência de ocorrência da velocidade \bar{u} (em horas) e $P_e(\bar{u})$ representa a potência elétrica instantânea para a velocidade \bar{u} (em W).

A informação de um recurso eólico num local pode ser representado pela densidade de potência disponível de vento, que relaciona a potência disponível de vento pela unidade de área de varrimento do rotor (W/m^2), tal como pode ser observado na figura 10. [20]

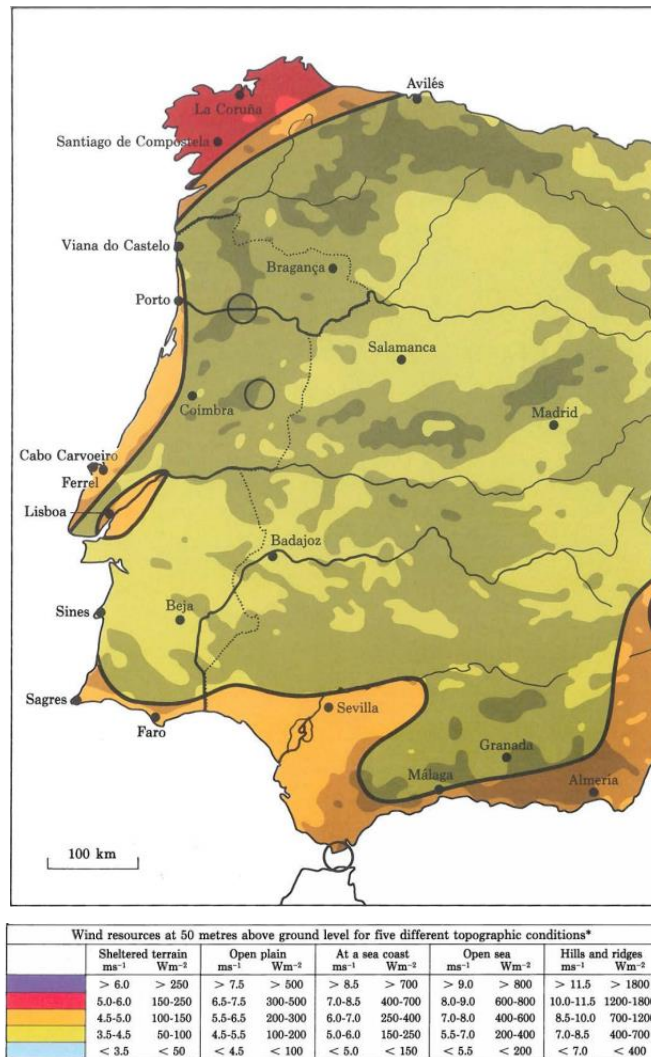


Figura 10 Atlas Europeu do Vento – Portugal [21]

Os aerogeradores são projetados para produzirem a máxima potência a uma determinada velocidade de vento, denominada potência nominal que é atingida durante a velocidade nominal do vento para o aerogerador. Esta velocidade poderá ser ajustada de acordo com o regime de ventos no local. [19]

Referindo-se, então, às velocidades de vento no local de instalação do aerogerador é possível destacar 3 parâmetros [19]:

- Velocidade de *cut-in* – velocidade à qual o aerogerador inicia o processo de produção de energia elétrica;
- Velocidade nominal – velocidade à qual o aerogerador atinge o valor nominal de potência;

- Velocidade de *cut-out* – valor de velocidade do vento máxima de funcionamento onde o aerogerador cessa o processo de produção.

Na figura 11 tem-se a curva característica potência/velocidade de um aerogerador.

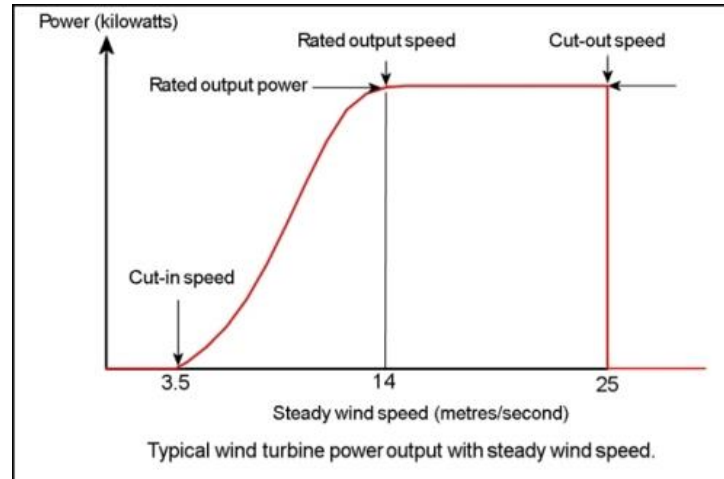


Figura 11 Curva característica de uma Aerogerador [22]

Aerogeradores

Referindo-se à sua orientação, os aerogeradores podem ter dois tipos de eixo rotacional: eixo horizontal (HAWT – *Horizontal Axis Wind Turbine*) ou eixo vertical (VAWT – *Vertical Axis Wind Turbine*). Ambos os aerogeradores de eixo vertical e horizontal podem ser do tipo *drag* ou do tipo *lift*, quando as pás fazem uso de forças de resistência aerodinâmica ou de forças de sustentação aerodinâmica para mover o rotor, respetivamente. As HAWT mais recentes são desenhadas para aproveitarem o fenómeno de *lift* obtendo um rápido movimento das pás com pequenas superfícies de área. [17]

Uma vez que neste estudo só se irá utilizar uma turbina do tipo eixo horizontal (HAWT), não serão futuramente detalhadas as VAWT.

Num aerogerador de eixo horizontal o escoamento do vento é efetuado paralelamente ao eixo da rotação do rotor, sendo o tipo de eixo mais usado comercialmente. Inicialmente, o gerador elétrico acoplado a este tipo de sistema era uma máquina (gerador) assíncrona, caracterizando-se por possuir uma velocidade de rotação aproximadamente constante

tendo, a montante, a caixa de velocidades a função de converter a velocidade do rotor na velocidade de sincronismo da própria máquina e por sua vez estar em fase com o campo girante da máquina e da rede elétrica. [20]

Surgiram, ainda, as máquinas síncronas como geradores neste âmbito, tendo como vantagem a possibilidade de suprimir a caixa de velocidades para conversão da velocidade e, por conseguinte, da frequência da rede elétrica. Para este efeito, são utilizados variadores de frequência cuja principal função é efetuar uma conversão AC/DC (do gerador síncrono para um barramento DC) e, de seguida, uma conversão DC/AC (a corrente contínua proveniente do barramento DC é convertida em corrente alternada com tensão e frequência – e fase – da rede elétrica de transporte/distribuição). [23] [24]

Um aerogerador com eixo horizontal é constituído por vários componentes que na sua íntegra permite o bom funcionamento do sistema e a produção de energia elétrica máxima possível:

Rotor

O rotor é o componente rotacional do sistema que alberga o cubo do rotor e as pás. As pás acopladas ao cubo do rotor captam a energia cinética do vento transformando-a em energia mecânica resultando um movimento rotacional do rotor. Adicionalmente, a superfície de captação do vento incidente pode ser do tipo *upwind*, quando o rotor se encontra a montante da torre/mastro e o vento ataca as pás de frente, ou do tipo *downwind*, onde o rotor se encontra a jusante da torre/mastro e o vento ataca as pás pelo lado de trás.

Cabina (Nacelle) / Corpo do aerogerador

A cabina é o local onde se encontram alojados os componentes do aerogerador, mais propriamente o gerador (assíncrono ou síncrono), a caixa de velocidades (quando esta existe), os veios, o sistema de travão (quando existente) e o mecanismo de orientação direcional (também designado por *yaw system* – quando se trata de um sistema de orientação ativo). Quando é utilizado um gerador síncrono, a ausência da caixa de

velocidades permite o uso de somente um veio que transfere o binário desde o cubo do rotor até ao gerador. O sistema de orientação sendo passivo (no caso dos pequenos aerogeradores) o aerogerador possui um desenho com um “cata-vento” de modo a que o rotor esteja sempre orientado para a direção do vento. [17]

Torre / Mastro

A torre suporta o corpo e o rotor do aerogerador, elevando a altura de ambos de modo a que se tire partido da maior velocidade do vento bem como de uma menor turbulência. A torre pode ser do tipo tubular ou do tipo entrelaçada. [19] Pode ainda ser usada, como no caso em estudo, um mastro com um tubo de aço inoxidável.

Em relação aos pequenos aerogeradores de eixo vertical, as HAWT apresentam algumas vantagens que podem tornar-se fatores decisivos na escolha do tipo de eixo do aerogerador, nomeadamente possuírem arranque automático, orientam-se sempre para a direção do vento e, por conseguinte, possuem uma eficiência maior. Apresenta um desenvolvimento constante e uma maturidade notável pelo que é uma tecnologia bastante utilizada. Não obstante, esta tipologia de eixo apresenta algumas desvantagens, sendo elas a maior suscetibilidade a ventos turbulentos quando o aerogerador se encontra instalado junto ao solo e o impacto visual superior, comparativamente às VAWT. [20]

2.3.2. ENERGIA FOTOVOLTAICA

A energia fotovoltaica tem vindo a ser bastante utilizada como alternativa às energias não renováveis, visto ser uma fonte de energia não só inesgotável, como também não poluente. A produção deste tipo de energia para venda à rede ou autoconsumo tem-se tornado deveras popularizado pela questão de bons níveis de aproveitamento dos recursos (no caso de existência de boa radiação solar, como é o caso do território português), pela tendência de redução do preço e aumento de potência dos módulos e pela manutenção mínima do sistema instalado.

O fenómeno fotovoltaico é definido como sendo a conversão direta de luz em eletricidade a nível atómico, sendo que quando um feixe de luz incide um determinado material, este

tem a propriedade de absorver o fóton (elemento da luz) e transformá-lo num elétron. Quando estes elétrons livres são capturados, surge uma corrente elétrica que pode ser usada em determinadas circunstâncias.

As células solares presentes nos módulos solares dispõem de uma película antirreflexo, com o intuito de reduzir a reflexão da radiação incidente para valores inferiores a 5% e são constituídas por materiais semicondutores, nomeadamente silício (monocristalino ou policristalino), sendo dispostas camadas deste material de modo a formar um campo elétrico com polaridades inversas nas extremidades. Quando a luz proveniente do Sol (fótons) atinge a célula, são libertados elétrons dos átomos que formam o material semicondutor, criando assim uma corrente elétrica contínua, na situação em que este se encontra interligado com as extremidades positiva e negativa formando um circuito elétrico fechado.

O sistema fotovoltaico pode ser representado eletricamente por um circuito equivalente onde se considera a célula fotovoltaica como sendo uma fonte de corrente, tendo em antiparalelo um diodo e em paralelo uma carga. A junção p-n funciona então como um diodo tendo como resultado uma corrente unidirecional dependente da tensão aos terminais da célula, tal como pode ser observado no modelo simplificado da figura 12.

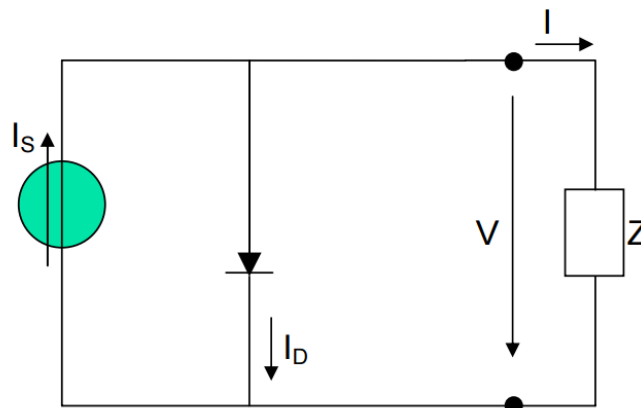


Figura 12 Esquema elétrico equivalente simplificado de uma célula fotovoltaica com carga [25]

O comportamento elétrico de uma célula fotovoltaica é caracterizado por uma curva exponencial que relaciona a corrente em função da tensão (figura 13). Um dos principais parâmetros do painel é a tensão em circuito aberto (V_{OC}), tratando-se do valor da tensão

quando a corrente do painel é nula, isto é quando não está acoplada nenhuma carga ao sistema fotovoltaico. Um outro parâmetro é a corrente de curto-circuito (I_{sc}), valor da corrente quando a tensão aos terminais do painel é nula, ou seja é o valor máximo da corrente que poderá percorrer a carga.

Outro parâmetro a ser considerado é o ponto de potência máxima (ou *Maximum Power Point* – MPP) que se refere, tal como o próprio nome indica, ao ponto da curva I-V onde é possível extrair a potência máxima do módulo fotovoltaico. [26]

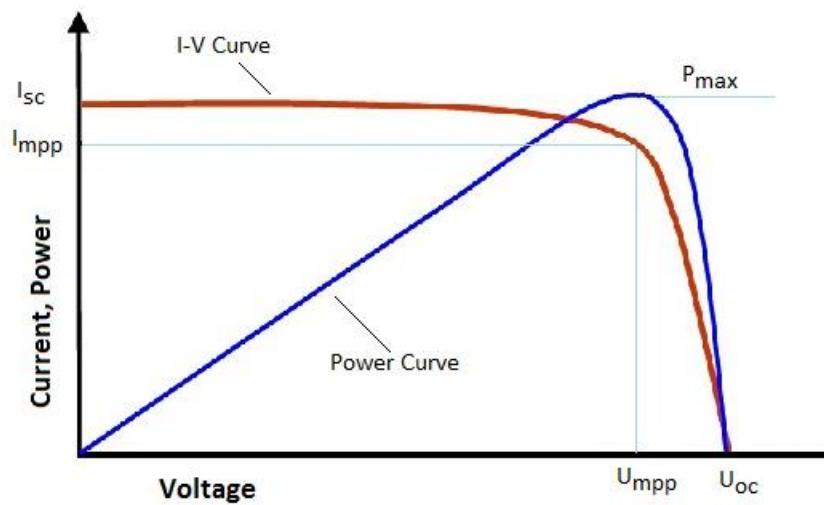


Figura 13 Curva I-V de um módulo fotovoltaico [27]

No entanto, o desempenho do painel fotovoltaico encontra-se ainda influenciado por fatores extrínsecos ao sistema propriamente dito, nomeadamente a temperatura e a radiação solar. A temperatura condiciona a eficiência da célula fotovoltaica consoante o aumento dos seus valores, querendo isto dizer que com o incremento da temperatura a tensão máxima debitada pelo módulo fotovoltaico tende a ser reduzida. Por outro lado, uma radiação solar (irradiância) com valores inferiores impõe uma redução da corrente que o painel pode fornecer à carga. Ambas as situações podem ser constatadas pelos gráficos da figura 14.

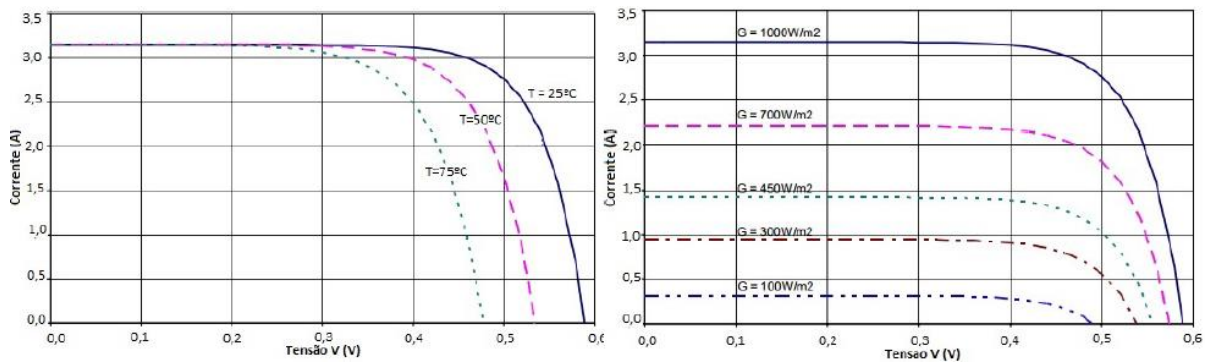


Figura 14 Efeitos causados pela temperatura e radiação numa célula FV, respetivamente [27]

Uma nota que merece reparo é a distinção entre os parâmetros “irradiância solar” (ou radiação incidente) e “irradiação solar”. “Irradiância” refere-se ao fluxo radiante incidente por unidade de área tendo como unidades W/m^2 , sendo então um valor num determinado instante. Por outro lado a irradiação refere-se à energia incidente na superfície por unidade de área ao longo de um intervalo de tempo (um mês, um ano,...) tendo as unidades Wh/m^2 . [27]

Disposição do sistema

Normalmente, os módulos solares são formados por células fotovoltaicas que se encontram ligadas em série criando assim uma tensão com valor típico. Por sua vez é possível a interligação de vários módulos (denominada por *array*) dependendo da configuração desejada, obtendo assim um somatório de tensão, corrente ou ambos. Dispõe ainda de díodos *bypass*, no caso de ligações de módulos em série (denominadas por *strings*) para prevenir uma redução de corrente numa fileira de módulos em circunstâncias de sujidade na superfície do painel ou sombreamento parcial ou integral.

Numa associação em paralelo os vários módulos encontram-se dispostos de maneira que os polos positivos estejam ligados entre si e, analogamente, os polos negativos estejam igualmente interligados. Com esta configuração o sistema permite obter uma tensão constante (os nós de ligação são comuns para todos os módulos), porém com uma possibilidade de fornecer corrente com valores maiores.

Por outro lado, quando os módulos dispõem de uma configuração em série, isto é o polo positivo de um módulo encontra-se interligado ao polo negativo do seguinte e assim sucessivamente, a corrente máxima mantém-se com valores inalterados, porém a tensão irá aumentar proporcionalmente ao número de módulos.

É possível ainda associar os módulos tanto em paralelo como em série, oferecendo uma solução mista onde é observado não só um aumento no valor da tensão como também no valor da corrente máxima.

Os cenários acima descritos podem ser evidenciados na representação gráfica da curva I-V na figura 15.

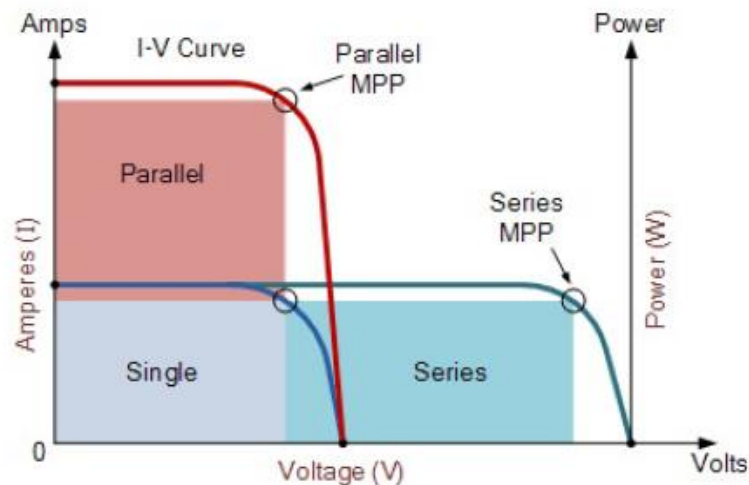


Figura 15 Curva I-V em função da tipologia de ligação [27]

Radiação Solar

A produção de energia do painel fotovoltaico encontra-se diretamente relacionada com a radiação solar que este poderá captar. Por sua vez, a radiação incidente solar depende não só da localização geográfica da instalação fotovoltaica como também da altura do ano em que existe uma produção elétrica, uma vez que a posição do Sol é variável ao longo do ano.

Usualmente, os dados do fabricante do módulo fotovoltaico encontram-se baseados em condições de referência, denominadas *Standard Test Conditions* (STC), onde definem a temperatura da célula como sendo 25 °C, a incidência solar (irradiância) de 1000 W/m² e

uma condição de massa de ar 1.5 (AM1.5). O valor da potência de pico (Wp) disponibilizado pelo fabricante do módulo solar é referenciado nestas condições.

Portugal é um dos países europeus com maior irradiação solar pelo que o seu potencial de aproveitar a energia proveniente do Sol é bastante considerável como pode ser constatado na figura 16. Por esta razão a energia fotovoltaica é uma das fontes de produção de energia renovável utilizada em Portugal, juntamente com energias de maior relevo nomeadamente a energia hídrica, eólica e térmica. [18]

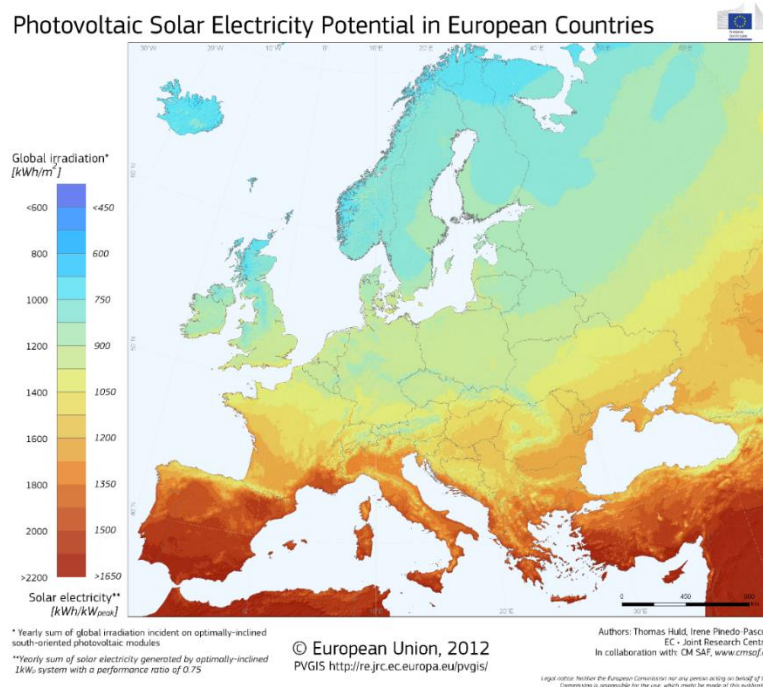


Figura 16 Irradiação solar anual na Europa [28]

2.4. CONVERSORES DE POTÊNCIA (DC-AC, AC-DC E VARIADORES DE FREQUÊNCIA)

Uma das batalhas mais significativas do século XIX foi o estabelecimento do tipo de eletricidade fornecida à casa do consumidor final, havendo defensores da energia do tipo corrente contínua (*Direct Current – DC*) e do tipo corrente alternada (*Alternating Current – AC*). Apesar de Thomas Edison defender que a corrente contínua seria menos perigosa que a corrente alternada de Nikola Tesla, o sistema de distribuição de Tesla triunfou e atualmente as linhas de transporte e de distribuição de energia (retirando algumas

exceções) funcionam com corrente alternada. Não obstante, a corrente contínua ainda ser usada em muitas circunstâncias. [29]

De facto, os dois tipos de correntes existem nos mais diversos dispositivos elétricos e eletrónicos, dependendo da arquitetura do sistema no qual se encontra instalado. Por exemplo, uma máquina de indução trifásica funciona através de corrente alternada, por outro lado, o circuito interno de um computador ou microcontrolador é alimentado por corrente contínua. No entanto, as duas tipologias de corrente não se podem interligar fisicamente sem um intermediário, uma vez que a natureza por trás dos seus modos de funcionamento é distinta uma da outra. Para colmatar este facto, é necessário recorrer a um conversor de potência para transformar a energia elétrica de corrente contínua em corrente alternada ou vice-versa.

Quando é pretendido uma conversão de uma corrente com componente alternada para uma corrente contínua recorre-se a um equipamento denominado retificador, sendo ainda possível acrescentar um filtro (no barramento de corrente contínua) em paralelo com os díodos, constituído por um condensador com o intuito de regular a corrente com valores contínuos constantes, isto é, anular o efeito ondulatório da corrente (*ripple*). [30][31] Por outro lado, quando existe a necessidade de converter uma corrente elétrica contínua em corrente alternada é possível recorrer-se a um inversor.

Existe ainda a possibilidade de converter a corrente alternada proveniente da rede elétrica de distribuição em corrente contínua e posteriormente, novamente, em corrente alternada, porém com características de onda configuráveis (valores de tensão e frequência) através de um variador de frequência, representado na figura 17. O bloco de potência de um variador de frequência é, então, constituído pelo retificador, pelo barramento DC e pelo inversor, tendo as seguintes características [7]:

- Retificador – tem a função de transformar a corrente alternada proveniente da rede (frequência fixa de 50 Hz) em corrente contínua através de um conjunto de díodos (componentes semicondutores não controlados externamente que se comportam como válvulas permitindo a passagem da corrente num sentido quando

diretamente polarizados e impedindo a passagem de corrente em sentido oposto quando inversamente polarizados);

- Barramento DC ou circuito intermédio com filtro – tem a função de regular a tensão retificada, sendo armazenada energia em condensadores;
- Inversor – é responsável por converter a corrente contínua proveniente do barramento DC em corrente alternada. É constituído por 6 transístores do tipo IGBT responsáveis pela inversão da tensão contínua num sinal alternado, com tensão e frequências variáveis.

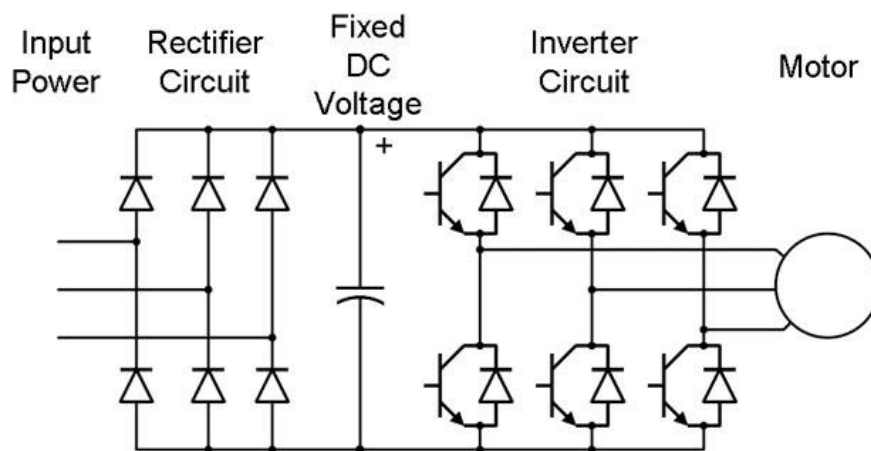


Figura 17 Esquema elétrico de um VVVF [32]

O variador de frequência, como já foi anteriormente referido, tem vindo a ser bastante utilizado em ascensores de tração elétrica, não só pela questão de maior controlo de parâmetros da máquina (velocidade, aceleração, ...) como também da redução de consumo de energia elétrica durante a manobra, principalmente durante o arranque.

No entanto, é de notar que quando a máquina se encontra no modo gerador, isto é, encontra-se a gerar eletricidade (situação onde o contrapeso ou a cabina tem maior massa, em sentido ascendente ou descendente da cabina, respetivamente), o fluxo de energia tomará o sentido inverso, havendo uma passagem de corrente para o barramento DC do variador de frequência. Em alguns casos, é acoplada uma carga resistiva (resistência de frenagem) entre os dois polos DC de modo que a energia proveniente da máquina geradora síncrona possa ser dissipada sob a forma de energia calorífica. Existe ainda a possibilidade

de o variador de frequência ser do tipo regenerativo, onde o bloco retificador (conversão AC-DC) tem a capacidade de reinjetar a corrente do barramento DC na rede elétrica AC ao invés de ser dissipada na resistência de frenagem (os díodos são substituídos por transístores IGBT).

O variador de frequência tem sido, então, um dos principais componentes a auxiliar a redução das correntes de arranque da máquina do elevador, reduzindo o consumo geral do sistema. Em contrapartida, acrescenta um valor residual de consumo quando o sistema se encontra em inatividade/*standby* pelo que em situações de categoria de utilização baixa (número reduzido de viagens por dia) o valor do consumo geral do sistema poderá aumentar consideravelmente e, por conseguinte, a classe energética.

2.5. RESUMO DO CAPÍTULO

O elevador sofreu várias alterações até ter chegado ao aparelho seguro que existe atualmente. Neste capítulo foi descrito o que é um elevador e como se comporta, bem como os vários tipos de elevadores e os seus funcionamentos de um modo sucinto. Foi descrito o conceito de eficiência energética, a legislação a esta associada e a norma referente ao cálculo da classe energética dos elevadores (bem como os cálculos presentes nela). Dentro do mesmo tema, foi referida a importância que um elevador tem no consumo elétrico de um edifício e que se torna necessário procurar reduzir este consumo.

Ainda neste capítulo foram detalhados os tipos de energias renováveis que serão objeto de estudo nos capítulos subsequentes, como se comportam e como são convertidas em energia elétrica. Para finalizar, foram estudados, de um modo breve, alguns conversores de potência, principalmente o variador de frequência, visto tratar-se de um componente essencial ao funcionamento da maioria dos elevadores de hoje em dia. Porém, constatou-se que este tipo de equipamento introduz um consumo residual no sistema, quando este se encontra em *Standby*.

3. ANÁLISE INICIAL DO PROJETO

Neste capítulo serão discriminados todos procedimentos necessários à elaboração do projeto apresentado na presente tese. Não só será feita a descrição do projeto e o que é pretendido, como também serão detalhados todos os componentes necessários ao projeto em causa e sua correta instalação. Serão elaborados estudos referentes ao uso das energias renováveis utilizadas quanto ao local de instalação e à sua rentabilidade. Será, por fim, ainda detalhada a metodologia utilizada para o estudo.

3.1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

Como já foi referido, o presente projeto pretende estudar a possibilidade de alimentar externamente um ascensor quando este não se encontra em manobra, de modo a reduzir ou até mesmo a suprimir a energia elétrica exigida à rede do edifício. Por outras palavras, pretende-se que a energia produzida pelas fontes de energia renovável alimentem todas as cargas do sistema quando este se encontra em *standby* e que, por conseguinte, a classe energética final do ascensor possa sofrer alterações positivas. De lembrar que a alimentação externa terá como origem a energia eólica e a energia fotovoltaica.

Para o presente estudo tomou-se como pressuposto que o consumo elétrico do sistema (ascensor+renováveis) é o consumo solicitado à rede elétrica do edifício.

3.1.1. COMPONENTES DA INSTALAÇÃO

Para o correto funcionamento do sistema de alimentação do ascensor com origem renovável, complementarmente ao sistema já existente do quadro do ascensor, é necessário ter em atenção aos vários componentes que o constituem de modo a não causar perturbações. Na figura 18 encontra-se representado o esquema de ligações elétricas desde as fontes de energia renováveis até ao quadro elétrico do ascensor de teste.

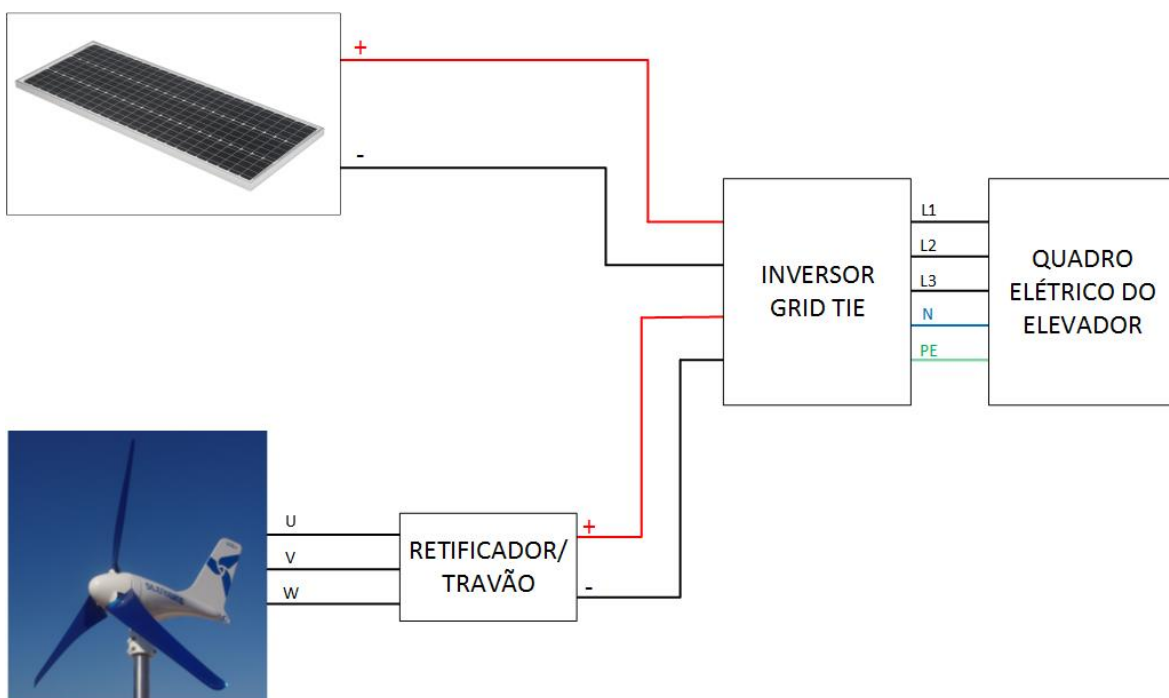


Figura 18 Esquema elétrico de ligação dos geradores até ao quadro elétrico do ascensor

Como se pode constatar pelo esquema precedente, o principal objetivo deste estudo é implementar no sistema original uma alimentação no circuito principal trifásico do ascensor através de fontes renováveis podendo permitir um consumo parcial ou nulo proveniente da rede elétrica doméstica AC durante o *Standby*. Para que seja possível interligar os dois circuitos (circuito de alimentação trifásico do edifício e o circuito das fontes renováveis), é necessária a utilização de um inversor trifásico *grid tie* (tipo de inversor que permite, sem anomalias, juntar a uma rede de corrente alternada existente

uma segunda rede vinda de diferente fonte, sendo que as características de onda alternada de ambas as origens se unem congruentemente). Com isto, a energia proveniente das fontes renováveis terá a possibilidade de alimentar, sem perturbações na rede já existente, todas as cargas *standby* do ascensor tendo em conta tabela 7.

Tabela 7 Trânsito de potência do circuito

Situação	Resultado
Energia da produção = Cargas Ascensor	As cargas do ascensor serão integralmente alimentadas pela energia proveniente das renováveis
Energia da produção > Cargas Ascensor	As cargas do ascensor serão integralmente alimentadas pelas renováveis e a energia remanescente produzida passará para a rede elétrica do edifício (alimentando eventuais cargas que não as do ascensor)
Energia da produção < Cargas Ascensor	As cargas do ascensor serão parcialmente alimentadas pelas renováveis e a restante energia necessária para o consumo terá como origem a rede elétrica doméstica

De notar que na situação de existir uma solicitação inferior, por parte das cargas do ascensor, à produção das renováveis, a energia remanescente da produção deslocar-se-á para o local onde exista uma carga. Na eventualidade de não existirem cargas na rede doméstica, o fluxo de potência passará para o exterior da instalação onde se encontra o ascensor, isto é, irá para a RESP. Porém esta situação não será estudada uma vez que não ocorrerá, devido à quantidade elevada de cargas presente nas instalações da Schmitt-Elevadores.

Em baixo estão enumerados e descritos os componentes presentes no circuito:

Aerogerador *Silentwind*

Principal componente na captação da energia proveniente do vento, o aerogerador de eixo horizontal da marca *Silentwind* (figura 19) com diâmetro do rotor de 1,15 m, dispõe de uma tensão nominal de 48 V e uma potência nominal de 500 W sendo estes obtidos a uma velocidade de vento de 25 m/s (90 km/h). A sua velocidade de *cut-in* é de aproximadamente 5 m/s (18 km/h) permitindo ao gerador síncrono de ímanes permanentes iniciar a produção de energia desde estes valores de velocidade. As 3 pás são fabricadas em carbono tornando-as resistentes a raios UV e a velocidades elevadas. O gerador dispõe de 3 polos que se irão interligar, a jusante, com o retificador/travão.



Figura 19 Aerogerador *Silentwind*

Retificador/Travão

O retificador (figura 20) converte a corrente alternada trifásica proveniente do aerogerador em corrente contínua, sendo esta direcionada para o inversor, que será detalhado mais à frente. Também dispõem de um interruptor que ativa um modo de “travão” efetuando um *shunt* às 3 fases do aerogerador de modo a impedir o movimento do rotor. Quando é ultrapassado um valor de velocidade de vento máximo, este componente atua nos polos do aerogerador de modo que o rotor não atinja velocidades que possam causar dano.



Figura 20 Retificador/Travão

Painéis fotovoltaicos

O sistema é constituído por dois módulos fotovoltaicos do tipo monocristalino de 24 V interligados em série de modo a obter uma tensão de 48 V. Cada módulo (figura 21) contém 72 células sendo capaz de produzir 100 Wp a uma incidência solar (irradiância) de 1000 W/m², massa de ar 1,5 (AM1.5) e com uma temperatura ambiente de 25 °C (condições STC), sendo os valores máximos de corrente e tensão de pico, respetivamente, 2,74 A e 36,6 V. O conjunto série destes dois módulos estará interligado diretamente ao inversor via dois condutores (polo positivo e polo negativo).



Figura 21 Módulos fotovoltaicos

Inversor *grid tie*

O inversor *grid tie* (figura 22) converte a corrente contínua proveniente dos módulos fotovoltaicos e do retificador (onde a montante se encontra o aerogerador) em corrente contínua trifásica. O inversor será a interligação entre o circuito das energias renováveis e o circuito trifásico já existente do ascensor de teste. A tensão máxima de entrada do inversor é de 60 V e a corrente máxima suportada é de 14,8 A para cada entrada, pelo que as ligações DC a montante não deverão ultrapassar estes valores. O inversor tem a capacidade de disponibilizar uma potência máxima de saída de 1000 W ao circuito trifásico a ele acoplado, com uma tensão composta de 400 V e uma frequência de 50 Hz. O inversor tem que ser imperativamente do tipo *grid tie* uma vez que possui as características necessárias para que a interligação dos circuitos ocorra sem anomalias, sendo que deverá ser compatível e estar em conformidade com a rede elétrica existente.



Figura 22 Inversor *grid tie*

3.1.2. ESTUDO AMBIENTAL DAS FONTES RENOVÁVEIS E LOCAIS DE INSTALAÇÃO

As fontes de energia renovável têm vindo a ser bastante usadas quando se pretende uma produção de energia elétrica sem recorrer a fontes não renováveis. No entanto, é preciso

ter especial atenção ao local onde se pretende iniciar uma produção de eletricidade, pois nem todos os locais para instalação destes geradores de energia renovável são propícios a um bom desempenho no que toca à quantidade de energia produzida.

Tomando por exemplo um módulo fotovoltaico, este não terá uma produção de energia considerável em locais onde a irradiação solar toma valores baixos, não sendo rentável a sua instalação nesse mesmo local. Analogamente, uma produção de energia eólica instalada num local onde a característica do vento não vá ao encontro do exigido pelo aerogerador, também não se obterá valores satisfatórios de produção de energia elétrica. Para se obter a máxima rentabilidade na produção deste tipo de energias, torna-se, então, necessário efetuar um estudo prévio da origem das fontes renováveis, isto é, as características e condições locais de vento e de radiação solar, neste caso.

Estudo do vento local

Os ventos são causados por diferenças de pressão ao longo da superfície terrestre originadas devido à diferente radiação solar em pontos distintos na Terra (a radiação no equador é mais relevante quando comparado com a radiação incidente nos polos), ao movimento de rotação da Terra e às variações sazonais de distribuição de energia solar incidente. Para a utilização da energia contida no vento, é necessária a existência de uma condição de fluxo permanente e razoavelmente forte de vento. O escoamento do vento num dado local está dependente de vários parâmetros, nomeadamente as características do regime dos ventos do local, a ortografia local, a rugosidade do terreno e os eventuais obstáculos presentes. [33]

O local para efetuar um estudo real e albergar o aerogerador serão as instalações da Schmitt-Elevadores na Rua da Arroteia em Leça do Balio, Matosinhos, mais propriamente no topo da cobertura da sede, pelo que se torna necessário estudar o local quanto aos parâmetros influenciadores do vento. O local encontra-se situado numa zona industrial com edifícios de baixa altura a Sul e a Oeste, um edifício residencial a Este e um agrupamento de árvores a Norte. Na figura 23 está apresentada uma planta do local.



Figura 23 Planta tridimensional do local em estudo e possível local de instalação de aerogerador

Com o intuito de se analisar algumas características do vento, torna-se necessário recorrer a um aparelho que permita uma análise dos parâmetros num período de tempo considerável para o estudo. Para tal, foi instalado na cobertura das instalações uma estação meteorológica com um anemómetro, com o propósito de mensurar não só a velocidade de vento ao longo de um intervalo de tempo como também a direção predominante do mesmo. Uma vez que as características do vento variam, como já foi mencionado, consoante a altura do ano, para uma análise detalhada ter-se ia que efetuar o estudo do vento num período o mais alargado possível (possivelmente um ano).

O período de medição das características do vento no local em estudo foi de aproximadamente quatro meses (maio a agosto, inclusive), sendo possível analisar parcialmente algumas características e ter acesso a valores médios da velocidade de vento.

A estação meteorológica, que contem o anemómetro, dispõe de um *software* que permite observar as características do vento sob a forma de tabelas e gráficos, mais propriamente os valores de vento e rajada e a direção do vento à qual foram registados esses valores. Nas figuras 24 e 25 são apresentados os gráficos com uma amostra de valores da velocidade média e da velocidade de rajada, respetivamente, captados ao longo de uma semana de medições. Note-se que os valores apresentados são médias de medições efetuadas em

intervalos de tempo de 10 minutos (período definido na aquisição de dados da estação meteorológica).

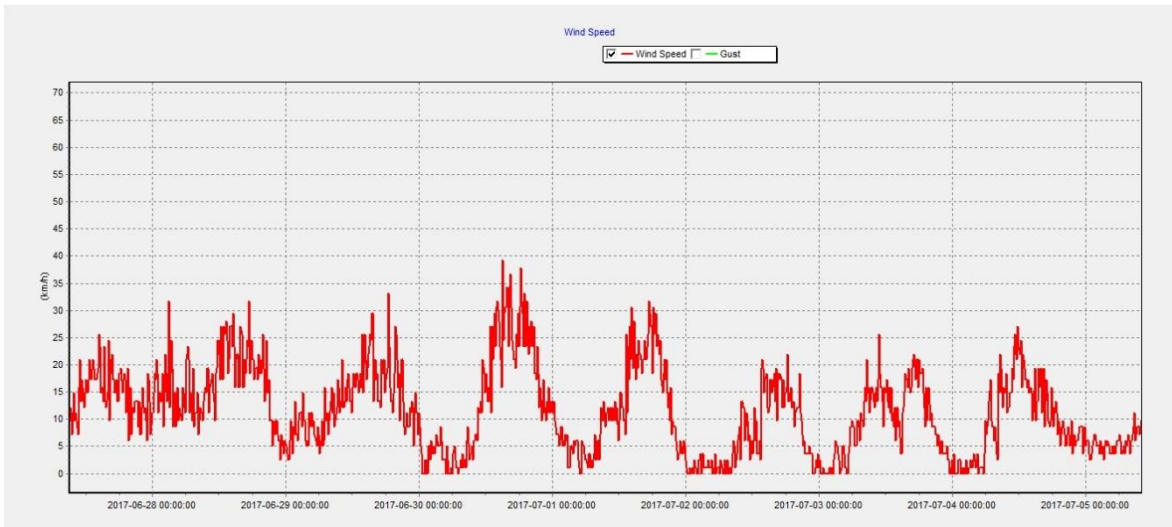


Figura 24 Gráfico dos valores médios da velocidade de vento no local de teste

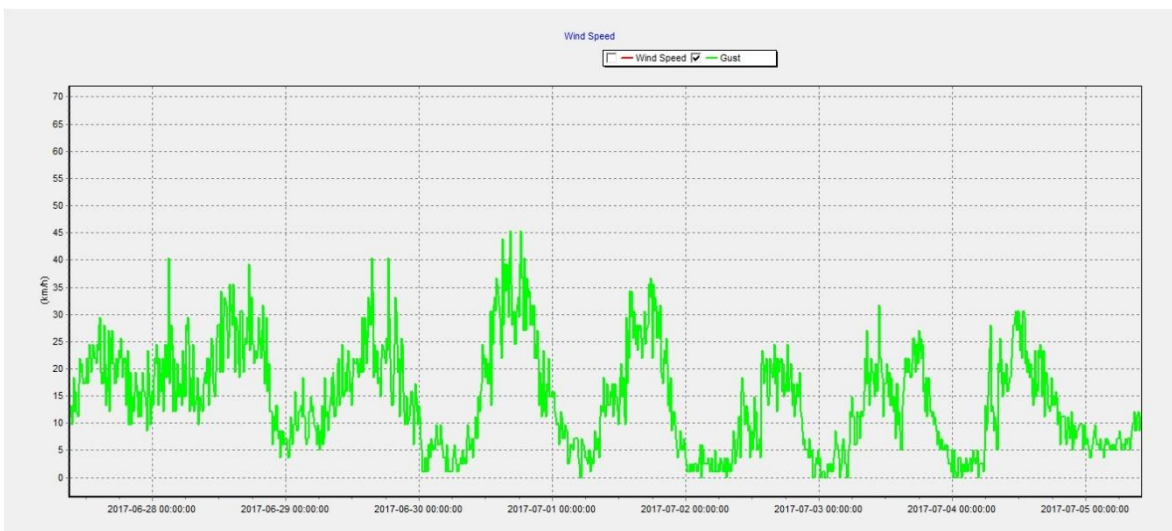


Figura 25 Gráfico dos valores médios da velocidade de rajada no local de teste

O vento é uma fonte de energia com bastante potencial de transformação em energia elétrica, porém tem a particularidade de não ser tão previsível ou constante quando comparado com outras tipologias de energia (fotovoltaica, hídrica, ...). Este fenômeno pode ser constatado através da análise dos gráficos apresentados anteriormente: a velocidade do vento não é constante ao longo do dia, podendo ter variações de valores bastante

consideráveis, no entanto, neste local, a presença quase permanente de vento, torna-se uma vantagem perante produções de energia cujo período de funcionamento é limitado ao longo de um dia (a energia fotovoltaica apenas poderá produzir energia em períodos onde existe radiação solar). A energia eólica poderá funcionar 24 horas por dia se forem reunidas as condições mínimas necessárias à sua produção.

Durante a semana de mensuração da velocidade do vento, foi possível constatar que foi atingido um valor de velocidade máximo na ordem dos 13,3 m/s (47,9 km/h) e um valor de velocidade média de 3,33 m/s (12 km/h) no período em análise (valor registado no dia 30 de junho de 2017). Analisando o gráfico com valores das rajadas, é possível observar valores aceitáveis de velocidade do vento, tendo sido obtida uma velocidade de 15,3 m/s (55,1 km/h) como valor máximo no período em análise (valor registado também na mesma data).

Um outro parâmetro que requer atenção no estudo do vento é a direção de predominância do vento. A direção predominante do vento é um fator que deve ser analisado com atenção para um correto posicionamento de um aerogerador de eixo horizontal. Na figura 26 é apresentado um gráfico com a predominância do vento com origem nas diferentes direções da rosa-dos-ventos.

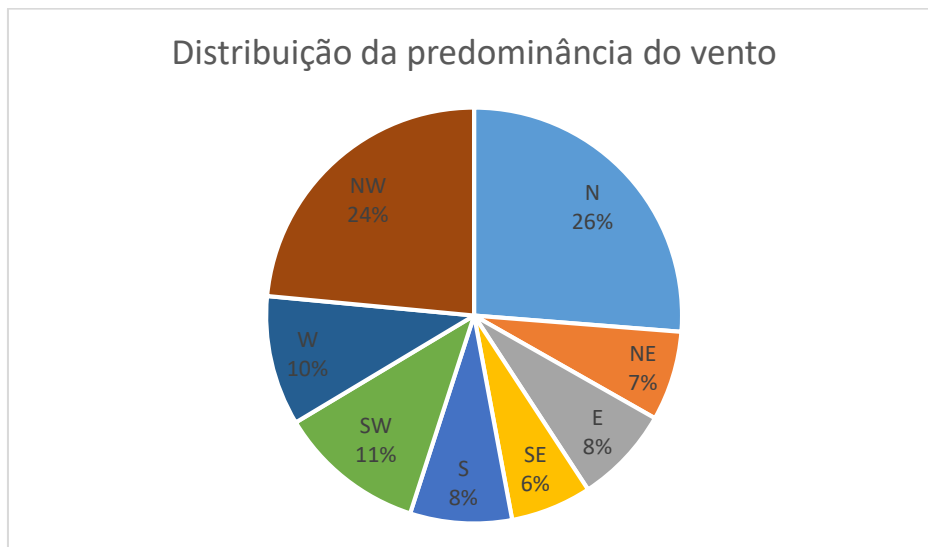


Figura 26 Gráfico da distribuição da predominância do vento

O gráfico precedente apresenta quais as direções de vento que mais ocorreram ao longo do período de mensuração no local em estudo, sendo possível constatar que existe uma clara predominância de vento com origem nos pontos Norte e Noroeste. De referir que o gráfico apresenta os dados relativos às direções do vento, no entanto não existe relação direta com a força do vento, isto é, a velocidade deste (este parâmetro é apresentado na figura 27). De relembrar também que o aerogerador selecionado para o estudo a efetuar dispõe de orientação passiva para a direção predominante do vento (possui um “cata-vento”), pelo que está sempre orientado de modo a maximizar o aproveitamento da energia cinética deste.

O aerogerador deverá ser instalado num local próximo ao do anemómetro previamente instalado com uma altura relativamente próxima, com o intuito de não existir uma discrepância de valores de velocidade de vento a percorrer ambos os equipamentos. Na figura 27 é apresentado um gráfico comparativo de velocidades médias do vento no local em estudo nos diferentes pontos cardeais, não tendo relação direta com a predominância do vento numa determinada direção (esta encontra-se representada no gráfico da figura 26 em cima).

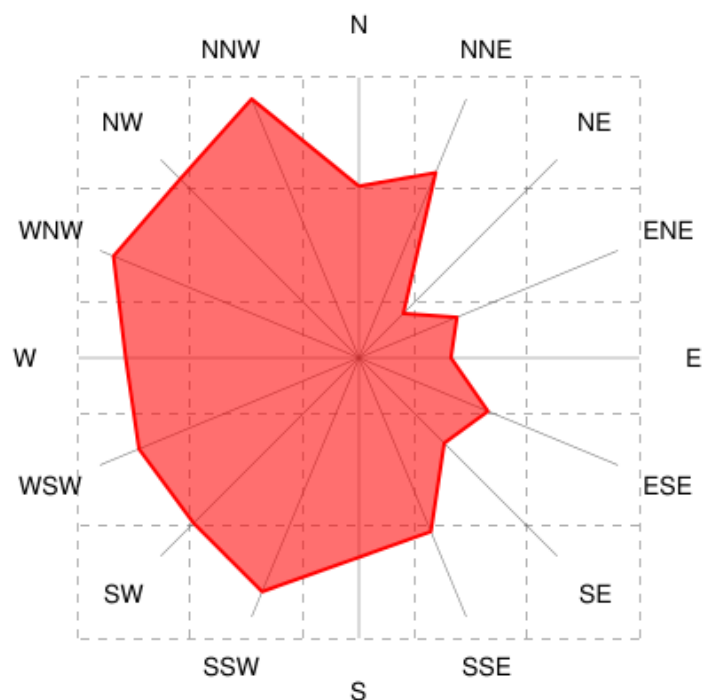


Figura 27 Gráfico da distribuição da velocidade média do vento nas diversas direções

Uma vez que o aerogerador a ser instalado dispõe de uma orientação passiva graças ao “cata-vento” instalado na parte posterior do corpo do conjunto, a direção da origem do vento acaba por não apresentar uma influência considerável neste tipo de geradores. No entanto, influencia na escolha do local da instalação em estudo de modo a evitar obstáculos a impedir a passagem de vento na direção com maior predominância.

Estudo da radiação solar local

Analogamente com o estudo do vento, a análise da radiação proveniente do Sol num determinado local de teste torna-se importante para uma correta implementação de uma produção de energia fotovoltaica. Referido no final do capítulo 2.3, Portugal dispõe uma das melhores áreas da zona da Europa para produção de energia fotovoltaica devido à irradiação anual presente no território nacional. De facto, o local em estudo para instalação dos dois módulos solares dispõe de um valor de irradiação solar bastante atrativo.

O local em causa, tal como o do aerogerador, será a cobertura das instalações da sede da Schmitt-Elevadores sendo imperativo estudar o local para averiguar se a implementação de módulos fotovoltaicos é, de facto, rentável. A figura 28 representa uma planta tridimensional das instalações da Schmitt-Elevadores sendo acrescentado um marcador a um possível local de instalação.



Figura 28 Representação tridimensional de possível local de instalação de painéis fotovoltaicos

Um possível estudo a ser efetuado para se adquirir dados acerca da irradiação solar num determinado local pode ser elaborado recorrendo ao PVGIS. O PVGIS trata-se de um sítio *web* pertencente à Comissão Europeia que disponibiliza, entre outros parâmetros, valores da irradiação solar mensal e anual num determinado local, indicação de valores ótimos sugeridos de inclinação e orientação dos módulos fotovoltaicos para uma máxima produção e uma estimativa de produção de energia elétrica dos módulos em estudo.

Recorrendo a esta ferramenta para análise das condições locais de radiação solar, após indicação exata do local em estudo, foi possível obter-se alguns valores de parâmetros sendo sintetizados na tabela 8.

Tabela 8 Parâmetros do estudo de radiação solar PVGIS

Inclinação do painel (sugerida)	35°
Orientação Azimute (Sul) (sugerida)	-2° (2° E)
Média de radiação mensal	165 kWh/m ²
Radiação anual total	1980 kWh/m ²

Com os valores de inclinação e orientação, estão reunidas as condições para instalar os módulos fotovoltaicos com a melhor captação solar possível. De notar que os painéis são instalados sobre um suporte metálico pelo que o ângulo de inclinação ótimo é alcançado graças à estrutura do mesmo, uma vez que a cobertura das instalações da Schmitt-Elevadores não apresenta uma inclinação suficiente para uma produção eficaz.

Analisando os dados adquiridos pelo estudo, é possível afirmar que o local é viável para instalação dos módulos fotovoltaicos, uma vez que para além de apresentar todos os parâmetros necessários a uma boa produção de energia elétrica, não apresenta sombreamento significativo do ambiente urbano em redor.

3.2. METODOLOGIA DO PROJETO

Para a realização dos testes envolvidos no estudo da presente tese, torna-se necessário realizar um conjunto de procedimentos de modo a validar o mesmo. Recordando que o principal objetivo do estudo é a redução da classe energética do ascensor principalmente através da redução do consumo solicitado à rede em inatividade/*standby*, é imperativo mensurar o consumo deste nas condições de medição referidas na norma ISO 25745-2.

Uma vez que se trata de uma implementação externa ao sistema original do ascensor, é essencial recorrer-se a simulações/medições antes de ser feita qualquer intervenção (isto é, o ascensor com as características de funcionamento inalteradas) e após serem acrescentadas as implementações em estudo.

Adicionalmente, será feita uma implementação real a um ascensor de teste sendo efetuadas medições num período de tempo maior (24 horas) de modo a obter-se um consumo de referência de cada tipo de implementação.

O estudo encontra-se dividido em 2 possíveis cenários de estudo sendo estes a alimentação do sistema recorrendo apenas a energia eólica e a alimentação do sistema recorrendo a energia eólica e energia fotovoltaica.

3.2.1. PROCEDIMENTOS DE MEDIÇÕES E DE OBTENÇÃO DE PARÂMETROS DE TESTE (PARA SIMULAÇÃO)

Segundo a norma em cima referida, é necessário efetuar uma série de procedimentos de modo a exibir-se não só o consumo instantâneo em inatividade/*standby* do sistema nas diferentes circunstâncias (consumo em inatividade logo após uma viagem, em *standby* 5 minutos após uma viagem e em *standby* 30 minutos após uma viagem, já referido na capítulo 2) como também o consumo em manobra, traduzindo-se, no final dos cálculos da norma, para um consumo diário estimado do ascensor tendo como retorno a classificação de eficiência energética final do equipamento.

De modo a obter-se estas mensurações torna-se imprescindível o uso de um aparelho de medição capaz de adquirir os valores de consumo instantâneo trifásico do sistema do

ascensor e também ao longo de um determinado período de tempo. Para isso recorreu-se ao *energy logger* PEL103 da marca *Chauvin Arnoux* que possui todas as características referidas, essenciais à correta medição de todos os parâmetros do estudo em causa. Este aparelho possui 4 sensores para tensão elétrica (3 fases mais o neutro) e 3 sensores de corrente elétrica para uma análise completa do sistema trifásico do ascensor. Estes sensores serão acoplados no quadro elétrico do ascensor de teste, no ponto de acoplamento de alimentação principal (relembrando a definição referida no subsubcapítulo 2.2.2), estando as pontas de prova de tensão ligadas em paralelo com as fases do sistema e as pinças amperimétricas ligadas em série em cada uma das linhas trifásicas de alimentação. O aparelho dispõe ainda de um *software* para computador onde é possível analisar vários parâmetros de medição, gráficos com os valores medidos, entre outros.

Tal como já foi referido em cima, para a obtenção da classificação energética final do equipamento, segundo dita a norma ISO 25745, existem duas séries de procedimentos para medição de consumos, o consumo em manobra (funcionamento) e o consumo em inatividade/*standby*.

O consumo em manobra refere-se à energia elétrica utilizada pelo equipamento quando este efetua viagens entre patamares com ou sem utilizadores na cabina, referida como energia específica de funcionamento médio (E_{spc} – medida em mWh/kg.m). Para a obtenção do valor deste consumo, primeiramente é necessário efetuar uma medição de teste do ciclo de referência do ascensor (relembrando que este ciclo se refere à deslocação da cabina vazia desde o primeiro até ao último andar e de volta ao primeiro andar com dois ciclos completos de funcionamento de porta). Esta medição de teste retornará um parâmetro denominado consumo de energia de manobra para ciclo de referência (E_{rc}) e efetuam-se os seguintes procedimentos para a sua obtenção:

- Acoplar o medidor de energia a todas as fases no ponto de acoplamento de alimentação principal;
- Medir e registar os valores de tensão de alimentação;
- Colocar o aparelho no modo de medição de energia;

- Iniciar a medição e efetuar o teste cíclico de patamares terminais (teste do ciclo de referência efetuado continuamente);
- Parar o teste após um número mínimo de 10 ciclos;
- Medir a energia ao final do teste e registar o valor;
- Dividir o valor da energia elétrica total pelo número de ciclos efetuados no teste para se obter um valor médio de energia do ciclo de referência.

Este valor será utilizado como parâmetro nos cálculos intermédios abrangidos pela norma para a obtenção da energia específica durante o funcionamento em manobra do ascensor.

De um modo semelhante ao funcionamento em manobra, é necessário efetuar uma série de procedimentos com o intuito de se obter as medições de consumo elétrico quando o ascensor se encontra em estado inativo. Os parâmetros a serem mensurados neste caso serão os consumos ao longo da inatividade/*standby* do sistema (imediatamente após uma viagem, 5 minutos após uma viagem e 30 minutos após uma viagem). O procedimento para a obtenção destes valores de consumo é elaborado da seguinte maneira:

- Acoplar o medidor de energia a todas as fases no ponto de acoplamento de alimentação principal;
- Medir e registar os valores de tensão de alimentação;
- Colocar o aparelho no modo de medição de energia;
- Colocar o ascensor no modo de ciclo de referência;
- Após terminar o teste de ciclo de referência (após as portas fecharem), iniciar imediatamente a medição de consumo de energia elétrica durante 1 minuto e registar o valor;
- Mantendo a cabina vazia imóvel no patamar durante 5 minutos, efetuar, após este período de tempo, uma medição de consumo de energia durante 1 minuto e registar o valor;
- Mantendo a cabina vazia imóvel no patamar durante 30 minutos, efetuar, após este período de tempo, uma medição de consumo de energia durante 1 minuto e registar o valor;

- Calcular os diferentes valores de consumo dividindo os valores de energia obtidos pelo tempo de medição (neste caso, 1 minuto).

Após as etapas estarem concluídas, ter-se-ão os 3 parâmetros de consumo em standby: P_{id} , P_{st5} e P_{st30} que serão usadas como cálculos intermédios na norma ISO 25745-2 na obtenção da classificação energética final. De notar que, na situação de o consumo de energia durante o *standby* não sofrer alterações entre os 5 minutos e os 30 minutos, não se torna necessário efetuar uma medição após os 30 minutos de inatividade.

3.2.2. SIMULAÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA DIÁRIA E CLASSIFICAÇÃO ENERGÉTICA DO EQUIPAMENTO E ANÁLISE FINANCEIRA

Uma vez adquiridos os parâmetros (de um ascensor de teste) essenciais à obtenção da energia diária do equipamento, torna-se necessário efetuar todos os procedimentos matemáticos descritos na norma ISO 25745-2 de modo a obter-se a classificação energética final do ascensor. Para tal, foi elaborado em folha de cálculo *Excel* um simulador que efetua todos os cálculos requeridos pela norma, tendo como base os procedimentos da norma e tendo sido validado pelo simulador de desempenho energético presente no *website* da SEEP (Sistema de Etiquetagem Energética de Produtos) pertencente à ADENE.

Para uma rápida compreensão dos parâmetros e do funcionamento do simulador de eficiência energética tem-se na tabela 9 um esquema com os *inputs* e *outputs* do simulador.

Tabela 9 *Inputs e Outputs* do simulador de eficiência energética

<i>Inputs</i>		<i>Outputs</i>
Horas de funcionamento / dia	Simulador de eficiência energética	Energia Diária (Wh)
Dias de funcionamento / ano		Energia Anual (Wh)
Número de viagens diárias / Categoria de utilização		Energia específica de manobra – E_{spc} (mWh/kg.m)
Nº de patamares de paragem		Nível de desempenho em manobra
Distância do curso (m)		Potência de standby (W)
Velocidade nominal (m/s)		Nível de desempenho em Standby
Aceleração média (m/s ²)		Energia específica do ciclo de referência – E_{spr} (mWh/kg.m)
<i>Jerk</i> médio (m/s ³)		Classe Energética
Carga nominal da cabina (kg)		
Contrapeso (%) / Tipo de tecnologia		
Tempo de operação de portas (s)		
Energia ciclo de referência (Wh)		
Energia. ciclo curto (Wh) *		
Distância ciclo curto (m) *		
Potência inatividade (W)		
Potência <i>Standby</i> 5 min. (W)		
Potência <i>Standby</i> 30 min. (W)		

*Quando aplicável

De notar que os inputs a azul são dados técnicos do ascensor e os inputs a vermelho referem-se a mensurações efetuadas ao sistema do ascensor. Com os outputs retornados pelo simulador é possível criar uma comparação do comportamento do sistema do ascensor em termos de consumos elétricos nos diferentes cenários a testar.

De referir também que o parâmetro *jerk* é a derivada da aceleração em função do tempo, ou seja a taxa de variação da aceleração. Em termos práticos trata-se da intensidade do “solavanco” sentido no arranque do ascensor. O *jerk* médio, tal como a velocidade nominal e a aceleração média, trata-se de um parâmetro do ascensor fornecido pelo fabricante, podendo ser obtido no *software* do variador de frequência.

Uma vez que a classe energética final, segundo a norma, varia com o consumo diário, é neste parâmetro que é necessário focar durante a simulação. Sabendo o valor médio de produção das energias de fonte renovável, será este o consumo de energia não solicitado à RESP para alimentar as cargas do ascensor. Logo, com a subtração do valor da produção das energias renováveis ao valor de consumo diário do ascensor sem implementações, obter-se-á o consumo diário do sistema solicitado à rede com as implementações. Serão feitas as simulações para as diferentes categorias de utilização. Inicialmente será feita uma simulação preliminar para verificar se, de facto, existe uma melhoria da classe energética, com uma redução do consumo energético do ascensor solicitado à rede durante a inatividade/*standby*.

Para a análise financeira do projeto considerar-se-á o seguinte:

- O *cash-flow* anual será a diferença entre a receita anual e os encargos anuais de operação e manutenção;
- A receita anual será o valor do preço de energia que não se torna necessário solicitar à RESP anualmente;
- O preço de energia comprada à RESP foi considerado como sendo aproximadamente 0,1659 €/kWh (valor obtido no site da EDP Comercial, para clientes Baixa Tensão Normal com tarifa simples e potências contratadas entre 10,35 kVA e 20,7 kVA, sem IVA);
- A despesa de Operação e Manutenção anual foi considerada como sendo aproximadamente 1% do investimento inicial [19];
- A taxa de atualização foi considerada como sendo 5%;
- Será considerado como sendo um projeto com um prazo de 20 anos (vida útil de um ascensor varia entre 20 e 25 anos [7]).

3.2.3. MEDIÇÃO REAL DE ENERGIA CONSUMIDA DURANTE UM INTERVALO DE TEMPO NUM ASCENSOR DE TESTE

Tal como a análise para a simulação em cima, para a análise de cenários durante um estudo a um ascensor “real” é necessário ter em atenção alguns procedimentos.

Para esta situação, serão obtidos previamente os valores de consumos do ascensor de teste antes de serem efetuados quaisquer alterações ao sistema. Para isso será feita uma recolha do valor do consumo solicitado à rede durante um período de tempo (possivelmente 24 horas) e calcular-se-á a classe energética perante as condições verificadas. Posteriormente, de uma forma análoga, será feita a recolha do consumo do sistema já com as implementações efetuadas e obter-se-á a classe energética e o consumo diário sendo possível comparar os valores para ambos os casos. Para a obtenção da classe energética recorrer-se-á à tabela final da classificação energética da ISO 25745-2 (tabela 6, do subsubcapítulo 2.2.2) para comparar os valores limite de referência com o valor da energia diária consumida mensurada no ascensor de teste.

As especificações de medições foram efetuadas segundo a norma, porém as contas intermédias para a obtenção do consumo diário do ascensor não foram utilizadas. Neste caso, como já foi referido, foi efetuada a medição do consumo do sistema durante um determinado período de tempo (24 horas) com o *data logger*, previamente e após as intervenções. As medições dos diferentes cenários foram efetuadas numa época em que o tráfego de utilização do ascensor foi semelhante para todos os casos. No entanto poderá existir alguma discrepância entre valores, devido a uma eventual diferença residual entre números diários de viagem.

3.3. RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi descrito mais detalhadamente o projeto em estudo em que é que consiste e o que se pretende com este. Para melhor detalhar o projeto tornou-se necessário enumerar quais os componentes presentes na instalação utilizados no estudo e a função de cada um bem como as suas implicações no local de estudo.

Relativamente às fontes de energia renovável torna-se necessário, previamente, efetuar um estudo acerca das características do local para verificar se de facto este se encontra apto para uma produção eficaz, tanto de energia eólica como de fotovoltaica. Para tal foram usados aparelhos de medição de vento (velocidade, rajada, direção predominante do vento) no local de estudo e simulações para a obtenção de valores médios de produção fotovoltaica também no local em estudo.

Foi referida a metodologia do projeto e todos os procedimentos necessários para a obtenção dos valores do sistema do ascensor para cálculo de consumos energéticos e classificação energética. Foram, ainda, referidos os pressupostos para a análise financeira. Para finalizar foi detalhada a metodologia a ser utilizada para o estudo do ascensor de teste da Schmitt-Elevadores e quais os aparelhos utilizados para a obtenção dos valores de consumo instantâneo de energia elétrica e consumo de energia elétrica ao longo de um intervalo de tempo de mensuração.

4. ANÁLISE DOS CENÁRIOS DE ESTUDO

Tal como já foi referido, a presente tese estuda a hipótese de fontes renováveis alimentarem parcial ou integralmente o sistema do ascensor em modo *standby* de modo a haver uma melhoria na classificação energética do equipamento, estando divididos em 2 possíveis cenários de estudo: alimentação do sistema recorrendo somente a energia eólica e alimentação do sistema recorrendo a energia eólica mais energia fotovoltaica.

Neste capítulo será efetuada uma análise dos consumos de referência do ascensor antes de qualquer intervenção, como termo de comparação, com consumos futuros após a implementação do projeto de teste. Após a análise serão detalhados os resultados dos diferentes cenários.

4.1. ANÁLISE PRELIMINAR DO POTENCIAL DE MELHORIA DA CLASSE ENERGÉTICA

Com o intuito de verificar se, de facto, existe uma melhoria na classe energética final do ascensor com a adição de fontes de energias renováveis para alimentar o circuito em certas

circunstâncias, torna-se necessário recorrer a um simulador de consumos elétricos para verificar ambas as situações e compará-las. Para tal, utilizou-se o simulador criado em folha de cálculo *Excel* baseado nos cálculos sugeridos pela ISO 25745-2 que, após a introdução de todos os parâmetros referentes às características de um ascensor, retorna não só os valores de consumo de energia elétrica na situação de manobra e inatividade/*standby* como também a classe energética que o ascensor possui.

No anexo A é apresentada uma parte da primeira página do simulador com os respetivos parâmetros de entrada referentes às características de um ascensor com uma categoria de utilização 3 – 300 viagens diárias (*inputs* referidos no subsubcapítulo 3.2.2 na tabela 9).

Após serem introduzidos todos os parâmetros característicos do sistema do ascensor, foram introduzidos possíveis valores de melhoria do sistema após as implementações em estudo. Para este caso foi considerado que as fontes de energia renovável implementadas no sistema têm produção com valor suficiente para alimentar todas as cargas do ascensor quando este se encontra em modo inativo e em modo *standby*. Os parâmetros da potência consumida pelo ascensor em inatividade/*standby*, após terem sido feitas as implementações, foram declarados como tendo valor nulo, estando os restantes parâmetros inalterados. De notar que nesta análise inicial está a ser desprezada a energia absorvida pela rede do edifício que foi produzida pelas fontes renováveis e não consumida pelo sistema do ascensor (relembrando a tabela 7 do subcapítulo 3.1.1).

Após efetuada a simulação para ambos os cenários (antes e após uma possível implementação) foi possível observar os resultados obtidos e fornecidos pelo simulador, apresentados na figura 29.

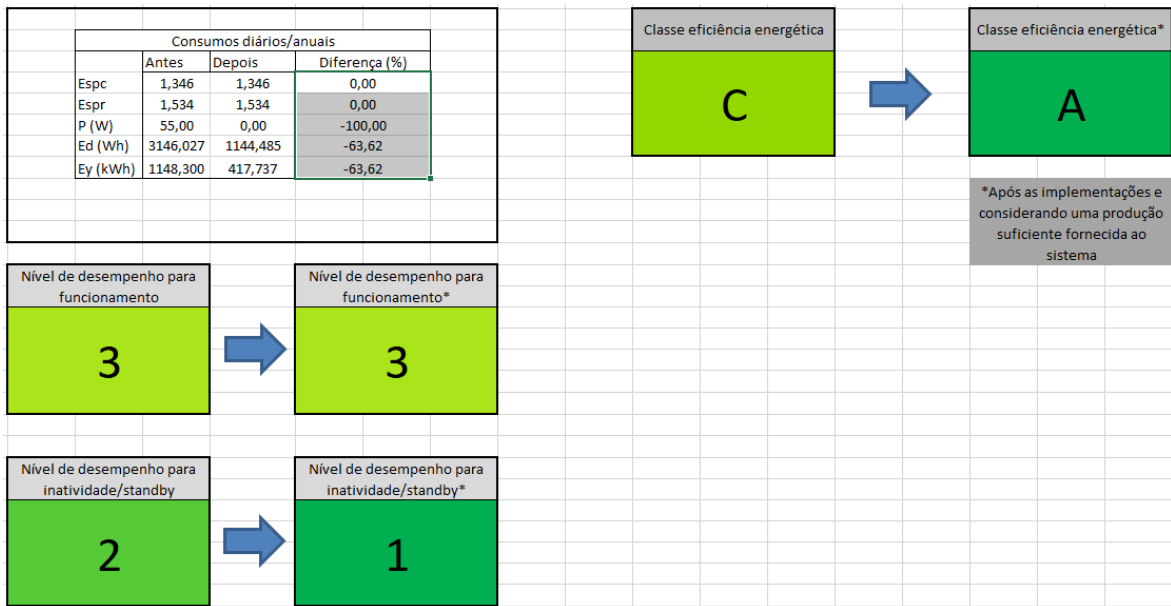


Figura 29 Comparação entre resultados antes e após implementações ao sistema de um ascensor

Como é possível constatar, uma correta implementação de energias de fonte externa no sistema original do ascensor, garantindo a energia necessária para a alimentação das cargas durante a inatividade/*standby* e, por conseguinte, suprimindo a energia exigida à RESP nestas situações, tem potencialidade de melhorar a classe energética final do ascensor. Nestas circunstâncias será possível melhorar a classe energética do ascensor do nível C para nível A.

No entanto, os ascensores poderão não ter as mesmas características no que toca a tráfego de utilização diário, sendo este um parâmetro que afeta os consumos diários do sistema. Assim, torna-se também essencial verificar a potencialidade de melhoria da classe energética do ascensor perante diferentes tipos de utilização do sistema. Usando o mesmo simulador das páginas anteriores, foram registados todos os parâmetros de saída referentes ao consumo do ascensor considerando as diferentes categorias de utilização (da categoria 1 à categoria 6), sendo mantidos todos os *inputs* do ascensor. Na tabela 10 encontram-se agrupados os resultados da simulação nas diferentes categorias de utilização.

Tabela 10 Classe energética antes e após as implementações consoante a categoria de utilização

Categoria de utilização	Classe Eficiência Energética Antes das Implementações	Classe Eficiência Energética Após as Implementações
1	B	A
2	B	A
3	C	A
4	C	B
5	C	B
6	B	B

Analisando a tabela precedente é possível observar que, tendo em conta as características do sistema do ascensor consideradas para a análise, existe um potencial de melhoria de classe energética final em todas as categorias de utilização excetuando a categoria de utilização 6 (superior a 2000 viagens por dia). Esta situação já seria esperada uma vez que com o aumento da categoria de utilização do ascensor, maior será o número de viagens diárias e, por conseguinte, menor o tempo em que o ascensor se encontra fora de manobra, isto é, em inatividade ou em *standby*. Visto que as implementações consideradas afetam maioritariamente o consumo quando o ascensor se encontra nestas últimas circunstâncias, é possível constatar que, com o aumento da categoria de utilização, o potencial de redução de consumo e classe energética tende a diminuir.

4.2. SIMULAÇÃO DOS CENÁRIOS

Neste subcapítulo serão feitas as respetivas simulações para os dois cenários em estudo de modo a obter-se o potencial de redução de consumo exigido à RESP por parte do sistema do ascensor bem como o potencial de melhoria da classe energética do mesmo. Complementarmente também será feita uma análise financeira para verificar a viabilidade do projeto em termos económicos.

De relembrar que o consumo do sistema do ascensor foi pressuposto como sendo o consumo solicitado à rede, isto é, o fluxo de energia no sentido rede/quadro elétrico do

ascensor. Pressupõe-se que toda a energia produzida pelas renováveis alimentem o sistema, não querendo dizer que todas as cargas do ascensor são alimentadas (para tal, a restante energia vem da rede do edifício). Quando a produção é superior à carga do ascensor, haverá um fluxo de energia no sentido quadro elétrico/rede, sendo considerado consumo negativo uma vez que a energia passa para a rede do edifício para alimentação de outras cargas – no entanto, não existe passagem para a RESP, neste estudo.

4.2.1. CENÁRIO 1 – UTILIZAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

Neste cenário foi considerada somente a energia elétrica proveniente do aerogerador para alimentação de cargas do sistema do ascensor, pelo que a energia fotovoltaica foi desprezada neste caso. Uma vez que a energia eólica encontra-se dependente do vento disponível no local em estudo, é necessário ter em conta as características deste, nomeadamente a velocidade média. Assim, serão considerados dois subcenários nesta análise: a situação onde é considerado um vento médio constante num local aleatório analisando o sistema como tendo comportamento permanente e a situação onde é utilizada a recolha de dados de velocidade de vento do anemómetro instalado na cobertura da Schmitt-Elevadores para efetuar o estudo da energia produzida.

Caso 1

Para o primeiro caso pressupõe-se que o aerogerador possuía um comportamento de produção de energia elétrica permanente, isto é, o valor da produção instantânea é constante. Para tal considerou-se um valor médio de velocidade de vento na casa dos 12,5 m/s (45 km/h) e recorrendo à curva característica do aerogerador da figura 31 foi possível extrair o valor de produção instantânea de eletricidade a ser injetada no circuito trifásico do ascensor. De relembrar que a energia produzida será aquela que não será necessário requerer à RESP, sendo o preço desta energia o *cash-flow* do projeto (após subtraído a este valor, posteriormente, os encargos de operação e manutenção dos equipamentos).

Inicialmente foi analisado, através do simulador criado anteriormente, o consumo oriundo da rede para alimentar o ascensor e a classe energética deste sem qualquer implementação efetuada. Os dados das características do ascensor utilizado para os cálculos ditados pela norma estão apresentadas na tabela 11 (estes dados referem-se também ao ascensor de teste da Schmitt-Elevadores).

Tabela 11 Tabela das características do ascensor

Horas de func./dia	24	Tempo de operação de portas (s)	16
Dias de func./ano	365	Energ. ciclo de referência – E_{rc} (Wh)	8,7
Número de viagens / Categoria de utilização	300 / Categoria 3	Energ. ciclo curto – E_{sc} (Wh)	-
Nº de patamares de paragem	2	Distância ciclo curto (m)	-
Distância do curso (m)	4,5	Potência inatividade (W)	141
Velocidade nominal (m/s)	1,0		
Aceleração média (m/s^2)	0,5	Potência <i>Standby</i> 5 min. (W)	52
<i>Jerk</i> médio (m/s^3)	0,6		
Carga nominal (kg)	630	Potência <i>Standby</i> 30 min. (W)	52
Contrapeso (%) / Tipo de tecnologia	50 / Tração		

Após a introdução dos *inputs* no simulador, foi possível obter os resultados referentes aos consumos que o ascensor exige à rede e a classe energética do sistema nestas circunstâncias. Estes resultados encontram-se explicitados na figura 30.

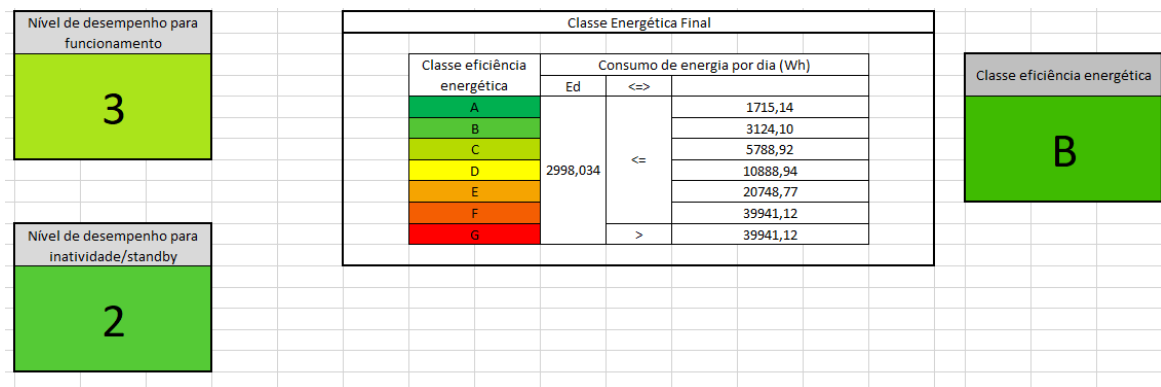


Figura 30 Exemplo de um resultado de simulação de consumos e classe energética

É possível constatar que o consumo diário do ascensor é de 2998 Wh traduzindo-se numa classe energética B, uma vez que se encontra abaixo do valor limite de referência para essa mesma classe (3124 Wh). Para existir uma alteração de classe B para A é necessário que o consumo diário do ascensor se situe abaixo dos 1715 Wh, pelo que o aerogerador terá que garantir uma produção tal que o consumo exigido à rede por parte do sistema se encontre abaixo deste valor.

Analisando agora o gráfico da curva característica do aerogerador da figura 31, é possível extrair o valor da produção de energia instantânea, tendo em conta o valor da velocidade média do vento considerada. Neste primeiro caso considerar-se-á um local onde a velocidade de vento é constante, tendo um valor de 12,5 m/s (45 km/h).

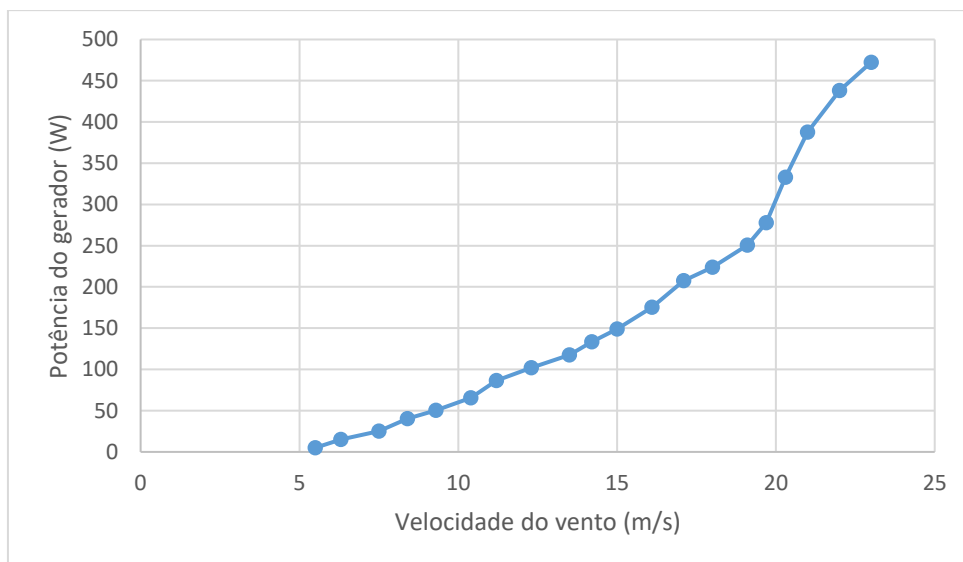


Figura 31 Curva característica do aerogerador

Analisando o gráfico precedente, e recorrendo a uma interpolação linear, é possível obter o valor da potência do gerador num instante de tempo. Para uma velocidade de 12,5 m/s o aerogerador produzirá aproximadamente 104,5 W. Supondo que este valor tem comportamento permanente, isto é não terá variações ao longo de um intervalo de tempo, consegue-se obter o valor de produção diário do aerogerador.

Supondo o aerogerador a funcionar 24 horas, ao final de um dia o aerogerador conseguirá produzir 2508 Wh (24 h x 104,5 W). Considerando que este valor de energia produzido é utilizado para alimentar as cargas do ascensor, e existe energia a transferir-se para a rede do edifício (quando as cargas do ascensor são inferiores à produção renovável), é possível obter o consumo solicitado à RESP por parte do sistema do ascensor.

Sabendo que sem quaisquer implementações o ascensor solicita à rede 2998 Wh e que 2508 Wh serão produzidos pelo aerogerador, o resultado da subtração do segundo parâmetro ao primeiro originará o consumo do sistema requerido à rede após as implementações. O resultado da subtração dá um valor de 490 Wh de consumo do sistema do ascensor e, uma vez que este valor se encontra abaixo de 1715 Wh de consumo diário de referência, o sistema consegue atingir a classe energética A, existindo uma redução de consumo na casa dos 83,7%. Considerando as restantes categorias de utilização é possível sintetizar os valores dos diferentes consumos de energia na tabela 12, onde é explicitada a

classe do ascensor e a diferença percentual em termos de consumos após a implementação da energia de fonte eólica.

Tabela 12 Consumo e Classe energética do ascensor antes e após as implementações

Categoria de Utilização	Consumo diário Inicial (Wh)	Classe Energética	Consumo diário Final (Wh)	Classe Energética	Δ Consumo (%)
1	1696	B	-812	A	-147,88
2	2157	B	-351	A	-116,27
3	2998	B	490	A	-83,66
4	4543	C	2035	A	-55,21
5	6410	C	3902	B	-39,13
6	8183	B	5675	B	-30,65

Como se pode constatar pela tabela precedente, com a introdução do aerogerador no circuito do ascensor com um comportamento de produção permanente, é possível verificar uma redução notável de consumo do sistema em categorias de utilização mais baixas (até 148 %), sendo de facto possível melhorar a classe energética em todas as categorias excetuando a categoria 6.

Note-se que os valores negativos de consumo diário exigido à rede não significam que o ascensor não consome energia (de facto, o sistema consome energia principalmente em manobra). Significa que o consumo inicial (antes das implementações) é alimentado pela produção das renováveis e, para além disso, ainda resta energia produzida que passará para a rede do edifício, daí haver um balanço de trânsito de potência negativo ao final do dia.

Caso 2

Nesta situação foi feito um estudo semelhante ao do caso 1, porém agora em vez de ser considerado um valor fixo de velocidade de vento num local em estudo, serão utilizados os valores adquiridos pelo anemómetro. Para se obter um valor de produção de energia eólica torna-se necessário recorrer à equação 6.

$$E_a = \sum_{u_0}^{u_{max}} f_r(\bar{u}) \times P_e(\bar{u}) \quad (6)$$

A tabela da frequência relativa de ocorrência da velocidade média do vento durante um intervalo de tempo encontra-se presente no Anexo B.

Através do somatório dos produtos da frequência de ocorrência de certa velocidade de vento pela potência produzida nessa mesma velocidade, é possível obter o valor da energia produzida ao final de um intervalo de tempo, neste caso ao final de 1587 horas de medições. Tendo em conta o local em estudo, o valor diário de energia produzido pelo aerogerador é de aproximadamente 126 Wh, pelo que este valor não será requerido à RESP.

Supondo que os restantes parâmetros do ascensor serão os mesmos do caso anterior, para as diferentes categorias de utilização estão resumidos na tabela 13 os valores dos consumos e a classe energética antes e depois da utilização do aerogerador.

Tabela 13 Consumo e Classe do ascensor antes e após as implementações

Categoria de Utilização	Consumo diário Inicial (Wh)	Classe Energética	Consumo diário Final (Wh)	Classe Energética	Δ Consumo (%)
1	1696	B	1570	B	-7,43
2	2157	B	2031	B	-5,84
3	2998	B	2872	B	-4,20
4	4543	C	4417	C	-2,77
5	6410	C	6284	C	-1,97
6	8183	B	8057	B	-1,54

É possível verificar que com a implementação do aerogerador no circuito não existe uma melhoria da classificação energética em nenhuma das categorias de utilização. Isto ocorre devido à velocidade de vento presente no local de teste que poderá não ter reunidas as condições necessárias para uma produção eficaz no período de medição. Relembrando que

a potência produzida pelo aerogerador depende exponencialmente da velocidade do vento, uma pequena variação deste valor poderia melhorar significativamente a produção de energia ao longo de um intervalo de tempo. Assim a instalação do aerogerador num local mais propício em termos de velocidade de vento resultaria em valores mais satisfatórios de produção de energia. Não obstante, apesar de não ser tão acentuada, existe uma redução de consumo do sistema devido à implementação desta fonte de energia renovável.

Relativamente à análise económica de ambos os casos do cenário 1, considerando um investimento inicial de 1925 € incluindo o material, a montagem e os seus componentes, os indicadores económicos estão representados na tabela 14.

Tabela 14 Indicadores da análise económica do projeto – Cenário 1

	<i>Cash Flow</i> Anual n/ atualizado	VAL	TIR	<i>Payback Period</i>
Caso 1	138,39 €	-200,32 €	3,7 %	24,37 anos
Caso 2	-5,85 €	-1997,84 €	Não Calculado	Não calculado

Conclusões

Esta implementação estudada tem um grande potencial de produção de energia elétrica que pode alimentar as cargas do sistema do ascensor e trazer poupanças significativas em termos de consumo solicitado à rede, podendo estar a produzir de um modo ininterrupto. Não obstante, dependendo da zona onde é instalado o aerogerador, a produção pode estar suscetível a quebras devido ao comportamento inconstante do vento.

Uma vez que a curva de potência de um aerogerador traduz-se por uma equação exponencial dependente da velocidade, só será gerado um valor de potência instantânea apreciável com velocidades relativamente altas (superiores a 30 km/h), o que acaba por condicionar a zona onde pode ser instalado o aerogerador.

Em baixo encontram-se sintetizadas as vantagens e desvantagens da solução apresentada.

Vantagens da implementação:

- Energia eólica pode funcionar durante 24 horas todos os dias;
- Potencial de produção de energia elétrica alto.

Desvantagens da implementação:

- Intermitência da produção instantânea da energia elétrica;
- Potencial de produção alto só alcançável com valores de velocidade consideráveis;
- Devido aos pontos anteriores, instalação só é rentável em locais onde a velocidade do vento seja alta e constante;
- O período de *payback* poderá ser bastante superior ao tempo de vida útil do ascensor.

4.2.2. CENÁRIO 2 – UTILIZAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA MAIS ENERGIA FOTOVOLTAICA

Neste cenário, para além de se considerar a energia elétrica produzida pelo aerogerador será considerada também a energia oriunda dos painéis fotovoltaicos, acrescentado uma produção adicional ao sistema para alimentação das cargas do ascensor. Para cálculos deste cenário serão considerados os dois casos utilizados no cenário 1, isto é será usado um valor constante de produção de energia eólica e será usado o valor de energia recorrendo aos dados obtidos pelo anemómetro.

Para a obtenção do valor de produção fotovoltaica recorreu-se ao simulador PVGIS onde é disponibilizada uma estimativa de produções diárias, mensais e anuais para uma determinada localização geográfica e características dos módulos fotovoltaicos. Foram considerados 2 módulos fotovoltaicos de 100 Wp de potência de pico e 24 V de tensão nominal ligados em série com perdas na casa dos 14 % e com uma orientação solar ótima. Os valores retornados pelo simulador estão resumidos na tabela 15.

Tabela 15 Características fotovoltaicas dos módulos solares

Local	Sede Schmitt-Elevadores
Potência de pico dos módulos (Wp)	200
Produção média estimada diária (Wh)	810
Produção estimada mensal (kWh)	24,6

Sendo um complemento à energia eólica já existente, o valor de consumo que não será necessário requerer à RESP será a soma da produção da energia eólica mais a produção da energia fotovoltaica. O valor de produção diário proveniente dos módulos fotovoltaicos será considerado, então, como sendo 810 Wh.

Caso 1

Relembrando que o valor de potência de produção da energia eólica com comportamento permanente foi considerado anteriormente como sendo 104,5 W, traduzindo-se numa produção elétrica diária de 2508 Wh, para a obtenção da energia total com a energia fotovoltaica incluída é necessário adicionar a produção diária desta.

Assim sendo, a produção diária que não se torna necessário adquirir à RESP é de (2508+810) 3318 Wh. Na tabela 16 são sintetizadas as situações de consumo elétrico vindo da rede nas diferentes categorias de utilização e respetivas classes energéticas do sistema do ascensor.

Tabela 16 Consumo e classe energética do ascensor antes e após as implementações

Categoria de Utilização	Consumo diário Inicial (Wh)	Classe Energética	Consumo diário Final (Wh)	Classe Energética	Δ Consumo (%)
1	1696	B	-1622	A	-195,64
2	2157	B	-1161	A	-153,82
3	2998	B	-320	A	-110,67
4	4543	C	1225	A	-73,04
5	6410	C	3092	A	-51,76
6	8183	B	4865	A	-40,55

É possível constatar pela tabela anterior que com esta implementação e com as condições consideradas, é possível reduzir as classes energéticas de todas as categorias de utilização

para o nível máximo A. Na categoria de utilização 1, existe uma redução de consumo exigido à rede de, aproximadamente, 196%.

Caso 2

Utilizando o valor de produção de energia elétrica proveniente do aerogerador através da obtenção dos valores de vento do anemómetro, já falado anteriormente, é possível adicioná-lo à produção estimada dos módulos fotovoltaicos onde resultará o valor de energia que não será necessário solicitar à RESP.

Relembrado que a produção de energia elétrica diária proveniente do aerogerador no local em estudo tem como valor 126 Wh e que a produção fotovoltaica toma como valor estimado 810 Wh, é possível obter-se um valor de produção das renováveis de 936 Wh e sintetizar, na tabela 17, os valores de consumo elétrico vindo da rede nas diferentes categorias de utilização e respetivas classes energéticas do sistema do ascensor.

Tabela 17 Consumo e classe energética do ascensor antes e após as implementações

Categoria de Utilização	Consumo diário Inicial (Wh)	Classe Energética	Consumo diário Final (Wh)	Classe Energética	Δ Consumo (%)
1	1696	B	760	A	-55,19
2	2157	B	1221	A	-43,39
3	2998	B	2062	B	-31,22
4	4543	C	3607	B	-20,60
5	6410	C	5474	B	-14,60
6	8183	B	7247	B	-11,44

É possível constatar através da tabela anterior que, com a implementação das duas fontes de energia renovável como alimentação adicional do circuito do ascensor, é possível melhorar não só o consumo exigido à rede do edifício como também a classe energética do sistema do ascensor em todos os casos (excetuando na categoria de utilização 3 – onde

o valor de consumo se aproximou do de referência para melhoria de classe porém não se situou abaixo deste – e na categoria 6 onde o tempo em que o ascensor se encontra em manobra é maior quando comparado com as restantes categorias – situação já referida em cima). De destacar que nos casos em que a categoria de utilização é 1 ou 2 que existe um potencial de melhoria da classe energética para o nível máximo.

Quanto à análise económica neste cenário de utilização das duas fontes de energia renovável, foi considerado um investimento inicial de 2078,90 € incluindo o material, a montagem e os seus componentes. Na tabela 18 estão expressos os indicadores económicos do projeto para os 2 casos do cenário.

Tabela 18 Indicadores da análise económica do projeto – Cenário 2

	<i>Cash Flow</i> Anual n/ atualizado	VAL	TIR	<i>Payback Period</i>
Caso 1	186,36 €	243,61 €	6,3 %	16,72 anos
Caso 2	42,13 €	-1553,92 €	-7,4 %	>> 20 anos

Conclusões

Esta implementação estudada junta as vantagens de uma produção eólica com as de uma produção fotovoltaica, trazendo assim uma possibilidade de produção de energia elétrica a longo prazo bastante aceitável. Durante o dia, ambas as fontes de energia poderão estar em funcionamento traduzindo-se num potencial de produção alto que poderá alimentar não só as cargas do ascensor como também outras cargas presentes na rede elétrica do edifício (quando existe excesso de produção para as cargas do ascensor).

Durante a noite a falta de energia proveniente dos módulos solares poderá ser compensada pela produção da energia eólica. Apesar de, com esta solução, se poder obter uma produção maior de energia, o investimento superior poderá tornar-se num fator impeditivo de rentabilidade de instalação devido ao período de retorno do investimento inicial. Para concluir são sintetizadas as vantagens e desvantagens da solução apresentada em baixo.

Vantagens da implementação:

- Possibilidade de garantir uma produção de energia elevada durante o dia para alimentar as cargas do ascensor;
- Possibilidade de alimentar também o circuito do ascensor durante a noite graças à energia proveniente do aerogerador;
- Período de retorno de investimento mais reduzido comparativamente com a solução onde se utiliza somente o aerogerador como fonte alternativa.

Desvantagens da implementação:

- Apesar de reduzir a classe energética em praticamente todas as categorias de utilização testadas, devido ao investimento inicial, o período de *payback* poderá ser superior à vida útil do ascensor.

4.3. MEDIÇÕES NUM ASCENSOR REAL

Com o intuito de verificar como se comportaria um sistema do ascensor quanto a consumos antes e após terem sido introduzidas as fontes de energia renovável como alimentação alternativa do circuito, foi efetuado um teste real num ascensor situado nas instalações da Schmitt-Elevadores. No anexo C estão apresentadas algumas imagens da instalação em causa. O ascensor dispõe das características descritas na tabela 19.

Tabela 19 Parâmetros do ascensor de teste

Marca	Schmitt+Sohn ISI 2040
Categoria de utilização	3 (200 a 500 viagens/dia)
Potência da máquina (kW)	5,2
Tecnologia	Tração
Tipo de suspensão	2:1
Contrapeso	50%
Carga nominal (kg)	630
Número de pisos	2
Distância de percurso (m)	4,5
Velocidade nominal (m/s)	1,0
Aceleração média (m/s ²)	0,5
<i>Jerk</i> médio (m/s ³)	0,6
Tempo de operação de portas (s)	16

A abordagem neste teste será ligeiramente diferentes das anteriores. Nesta análise não serão usadas as metodologias da ISO 25745-2 para obtenção de estimativa de valores de consumo do sistema, uma vez que será feita uma medição real do consumo exigido à rede, através de um *data logger*, no quadro de entrada do sistema de teste. A obtenção de valores ocorrerá durante 24 horas, em cada cenário em estudo, e estes valores de consumo serão comparados com os valores limite de referência da tabela da classificação energética da parte final da norma.

Inicialmente foi efetuado um teste padrão, isto é uma medição de consumo sem nenhuma implementação efetuada, de modo a obter-se uma referência de valores de consumo para o estudo dos cenários. O *data logger* foi programado para obter medições de consumo de energia instantâneo, de consumo de energia ao longo das 24 horas e de valores de tensões e de corrente, para uma análise mais específica do comportamento do sistema. A medição foi efetuada das 8h17 do dia 30 de agosto até às 8h15 do dia 31 de agosto, perfazendo praticamente 24 horas de obtenção de valores de consumo. Na figura 32 tem-se uma imagem do ambiente gráfico do *software* incluído no *data logger* onde é possível analisar

algumas curvas de grandezas obtidas durante a medição ao longo de um dia, nomeadamente a energia ativa, reativa e aparente.

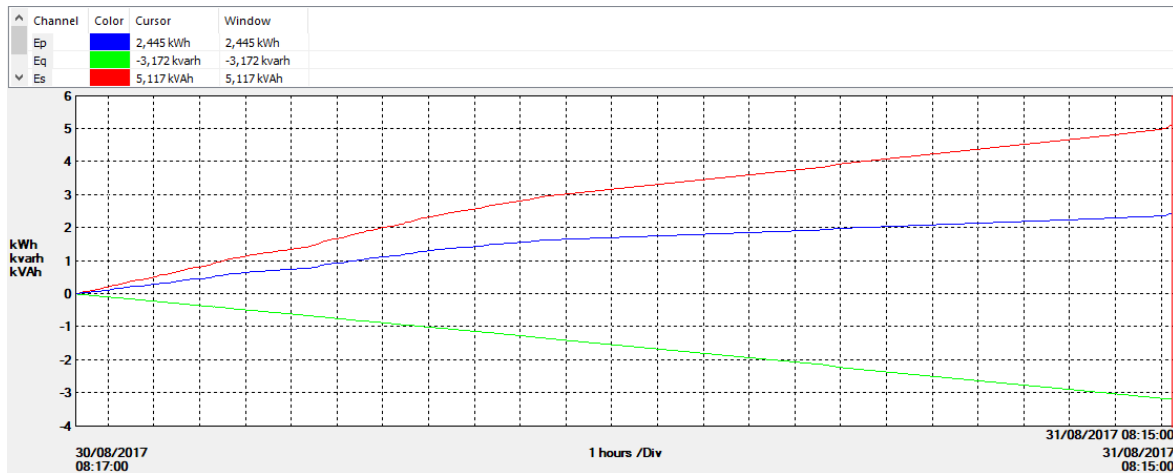


Figura 32 Valores padrão do consumo elétrico do sistema do ascensor

Como se pode observar pela figura 32, o sistema do ascensor consumiu da rede 2445 Wh de energia elétrica ativa sem quaisquer implementações efetuadas, pelo que este será um valor de referência como termo de comparação com os resultados obtidos após as implementações terem sido efetuadas. Um outro parâmetro que também merece ser analisado é a potência instantânea ao longo do período do teste, uma vez que fornece informação acerca do comportamento de utilização da energia no sistema bem como valores máximos de pico e quando ocorrem. Na figura 33 encontra-se a curva da potência ativa instantânea total ao longo de um período de tempo determinado.

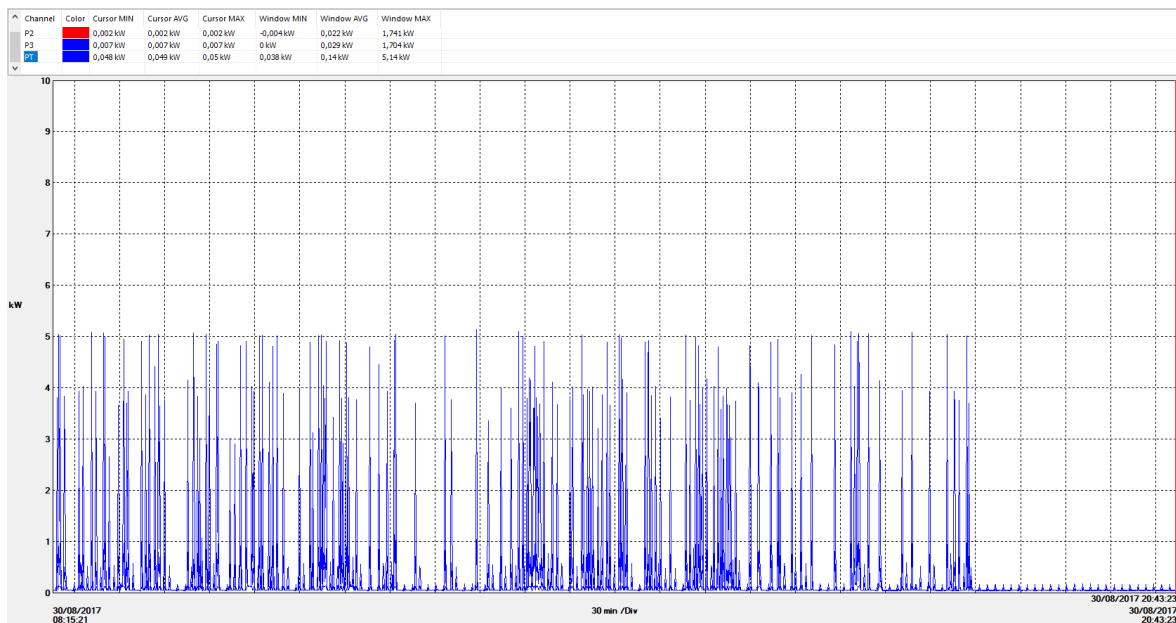


Figura 33 Gráfico da potência ativa instantânea total

Analisando o gráfico da potência ativa instantânea é possível observar as circunstâncias em que o elevador se encontra em funcionamento e quando se encontra inativo ou em *standby*.

Os picos no gráfico da potência ativa instantânea (valores na casa dos 2,5 até aos 5 kW) referem-se ao consumo instantâneo do elevador quando a máquina deste se encontra em modo motor. Relembrando, esta situação ocorre quando o elevador (cabina) se encontra no sentido ascendente onde a massa da cabina (com ou sem utilizadores no interior) é superior à massa do contrapeso ou quando a cabina se encontra no sentido descendente e a massa do contrapeso é superior à da cabina. Por outras palavras, sempre que não é possível tirar partido da força da gravidade no conjunto cabina-contrapeso, a máquina do elevador funcionará como motor.

Por outro lado, quando a máquina do elevador funciona como gerador, haverá uma redução significativa do consumo exigido à rede (consumos com valores à volta dos 0,5 e 1 kW), uma vez que o esforço mecânico da máquina será bastante menor. Esta situação ocorre quando a cabina se encontra no sentido descendente onde a massa da cabina é superior à massa do contrapeso ou quando a cabina se encontra no sentido ascendente e

a massa do contrapeso é superior à da cabina. De lembrar que a energia gerada pela máquina não será reaproveitada de nenhuma maneira pelo que será dissipada na resistência de frenagem presente no circuito elétrico do ascensor. Existe ainda uma situação que pode ser constatada no gráfico onde o consumo instantâneo se encontra com valores baixos aproximadamente constantes na casa dos 50 W. Estes valores referem-se à situação onde o sistema do ascensor se encontra em *standby*.

De notar que este teste padrão foi efetuado numa época de utilização do ascensor de modo que seja semelhante aos restantes testes já com as implementações, isto é a categoria de utilização e o número de viagens diárias nos diferentes testes terá que ser semelhante para uma maior veracidade do estudo. O número de viagens efetuado pelo ascensor ao longo das 24 horas de medições foi de aproximadamente 290 viagens fazendo parte da categoria de utilização 3. Analisando agora a tabela de valores limite da classe energética presente no final da norma ISO 25745-2 é possível identificar qual a classe energética do ascensor com as condições acima referidas. Na tabela 20 encontram-se os valores limite de consumo de energia diário referentes às características do ascensor.

Tabela 20 Limites de consumo elétrico diário para obtenção da classe energética – Cenário padrão

Classe Energética Final			
Classe eficiência energética	Consumo de energia por dia (Wh)		
	Ed	<=>	
A	2445,0	≤	1697,97
B			3099,96
C			5755,96
D			10845,97
E			20697,14
F			39889,75
G		>	39889,75

Como se pode constatar, o sistema do ascensor consome da rede 24445 Wh o que se caracteriza numa classificação energética final de nível B. Para a obtenção do nível A, o sistema teria que ter menor ou igual energia que 1697,97 Wh de consumo exigido à rede.

Cenário 1

Será agora analisado o cenário em que o sistema do ascensor tem uma alimentação paralela alternativa com uma fonte renovável, isto é será alimentado sempre que possível pela fonte de energia eólica. De relembrar que esta fonte alimenta na íntegra o sistema do ascensor quando a carga do ascensor é igual ou inferior à produção do aerogerador (relembrando a tabela 7 do trânsito de potência do subsubcapítulo 3.1.1).

De forma análoga ao cenário padrão anterior, as medições dos parâmetros elétricos do sistema do ascensor serão efetuadas através do *data logger* dentro das mesmas condições de mensuração, ou seja serão adquiridos os valores das diferentes grandezas durante um período de 24 horas. Neste caso, as medições serão efetuadas desde as 8h23 do dia 1 de setembro até às 8h21 do dia 2 de setembro. Na figura 34 tem-se os consumos do ascensor ao longo deste intervalo de tempo.

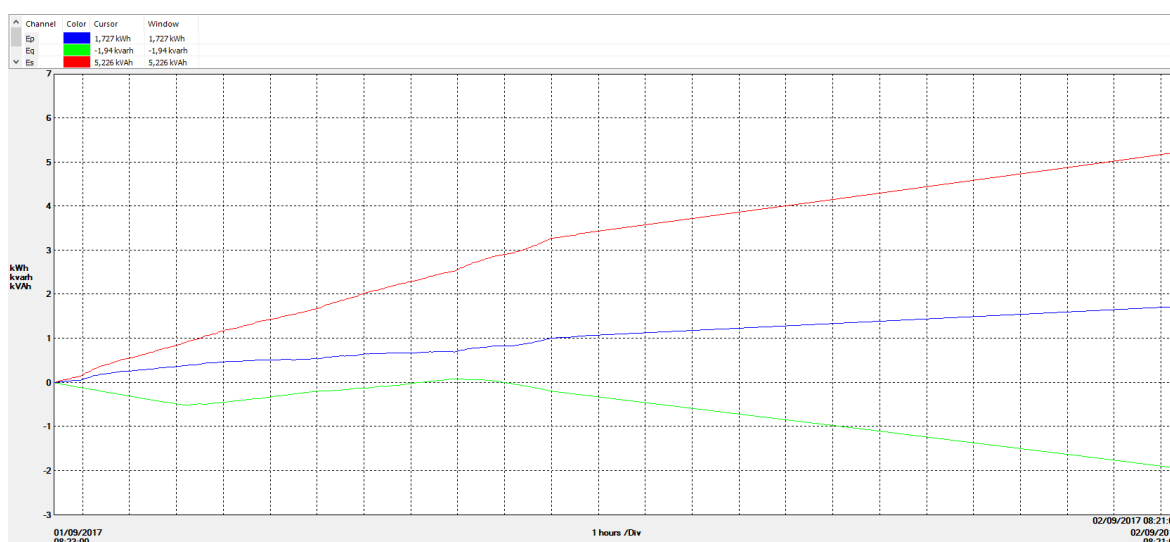


Figura 34 Valores do consumo elétrico do sistema do ascensor – Cenário 1

Como se pode observar através dos valores fornecidos pelo *software* do *data logger*, o consumo do sistema do ascensor solicitado à rede, com o aerogerador implementado no circuito, toma valores de 1727 Wh, tendo sido feitas cerca de 260 viagens durante o período de 24 horas de medição. Se se quiser ter um termo de comparação com o valor de consumo padrão obtido anteriormente, torna-se necessário igualar o número de viagens, podendo ser adicionada a energia das restantes viagens. Por outras palavras, sabendo que o consumo de energia do ciclo de referência do ascensor de teste (equivalente a duas

viagens) é de 8,7 Wh, com 30 viagens o sistema consumirá adicionalmente $(30/2 \times 8,7)$ 130,5 Wh. Assim o sistema terá um consumo equivalente de 1857,5 Wh com um número de viagens equivalente a 290. Agora torna-se possível comparar o valor de consumo padrão com o valor de consumo com o aerogerador implementado. Relembrando, o sistema do ascensor sem implementações tem um consumo exigido à rede de 2445 Wh e o consumo com a implementação do aerogerador é de 1857,5 Wh. Esta diferença representa uma redução de aproximadamente 24,0 % do consumo inicial do ascensor. O valor relativo de consumo solicitado à rede calculado (1857,5 Wh) serve apenas para termos de comparação com os outros cenários. Ao determiná-lo poderá estar-se a incorrer num erro no valor do consumo.

Tal como anteriormente, será também estudado o gráfico da potência ativa instantânea total ao longo de um determinado período de medição representado na figura 35.

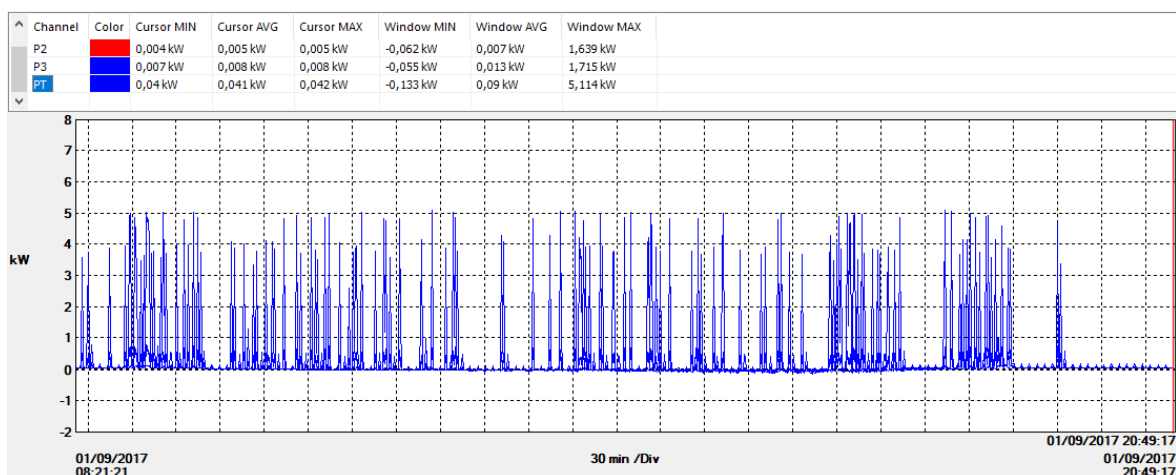


Figura 35 Gráfico da potência ativa instantânea total – Cenário 1

É possível observar através da análise da imagem do gráfico anterior que a potência de pico máxima no período em análise teve como valor aproximado de 5 kW e que o valor mínimo foi de -133 W. O primeiro valor indica a potência máxima instantânea que o sistema exigiu à rede para um correto funcionamento do ascensor, sendo que grande parte deste valor é dedicado à máquina do sistema. O segundo indica o valor máximo de potência instantânea que o sistema do ascensor injetou na rede elétrica do edifício (situação em que a produção

do aerogerador para além de alimentar todas as cargas do ascensor, tem ainda a possibilidade de fornecer energia à rede trifásica onde se encontra instalado o sistema).

Para concluir o estudo do cenário é calculada a classe energética do ascensor tendo em conta os valores limite presentes na tabela 21 da classe energética.

Tabela 21 Limites de consumo elétrico diário para obtenção da classe energética – Cenário 1

Classe Energética Final			
Classe eficiência energética	Consumo de energia por dia (Wh)		
	Ed	<=>	
A	1727	≤	1646,45
B			3027,55
C			5657,06
D			10717,08
E			20542,27
F			39735,64
G		>	39735,64

Como é possível observar, o ascensor tendo um consumo diário de 1727 Wh situa-se na classe energética nível B. Um ligeiro aumento na produção eólica e, por conseguinte, uma redução do valor de energia elétrica requisitada à rede, poderia traduzir-se numa passagem da classe energética B para a classe A, uma vez que o valor limite desta classe não se encontra muito longe do consumo do sistema.

Cenário 2

Por fim, será testado o cenário onde o circuito é alimentado, para além da rede do edifício, não só pelo aerogerador como também pelos módulos fotovoltaicos. De forma semelhante, as medições dos parâmetros elétricos do ascensor serão efetuadas

recorrendo ao *data logger* obtendo os valores dos consumos durante um período de 24 horas. Neste caso, as medições serão efetuadas desde as 8h19 do dia 31 de agosto até às 8h17 do dia 1 de Setembro (figura 36).

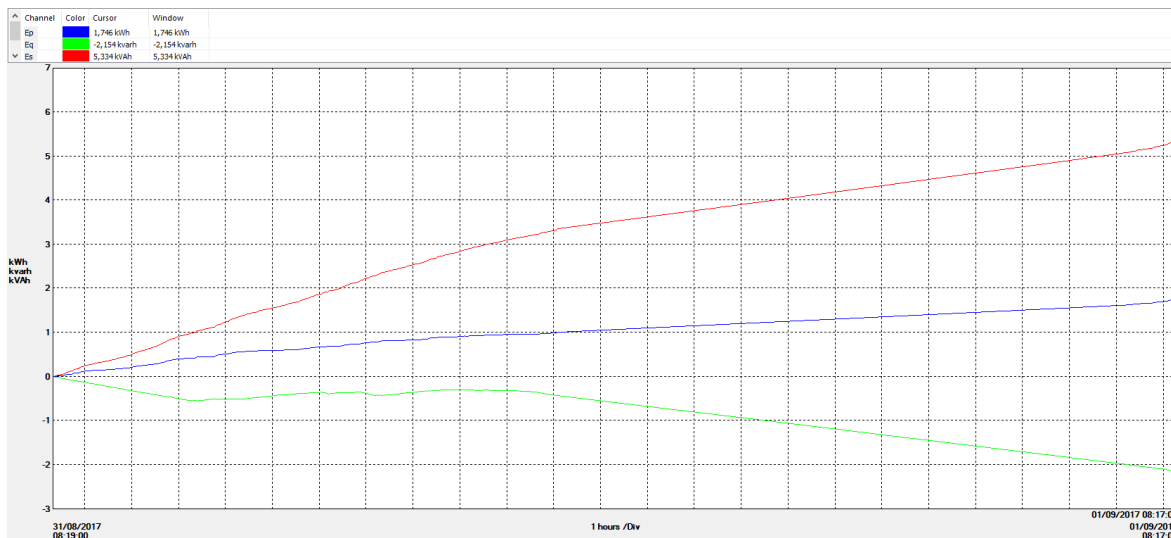


Figura 36 Valores do consumo elétrico do sistema do elevador – Cenário 2

Analisando o gráfico da figura 36 é possível constatar que o valor do consumo de energia ativa do sistema do elevador solicitado à rede é de 1746 Wh, tendo tido um número de 270 viagens diárias aproximadamente. Fazendo a soma de viagens necessárias para se obter um termo de comparação com o valor padrão de 290 viagens (tal como foi efetuado no cenário 1) o valor do consumo relativo passaria a ser de 1833 Wh ($1746 + (20/2) \times 8,7$). De relembrar que este valor serve apenas para termos de comparação com os outros cenários, podendo estar-se a incorrer num erro no valor do consumo que o sistema exige à rede.

Em baixo na figura 37, tem-se o gráfico da potência ativa consumida pelo sistema.

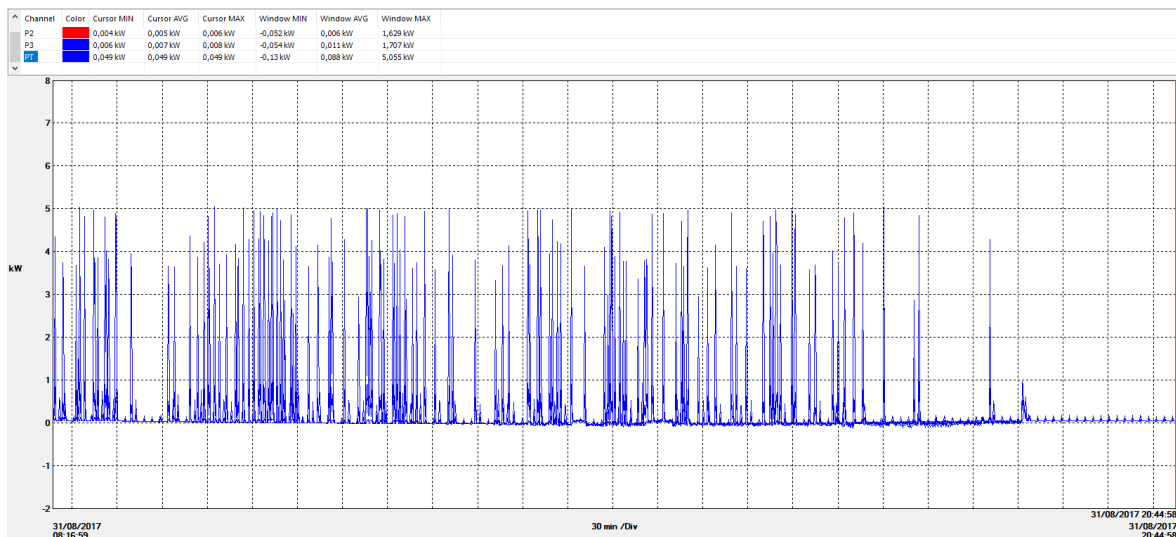


Figura 37 Gráfico da potência ativa instantânea total – Cenário 2

Similarmente ao cenário anterior, o valor de pico da potência encontra-se à volta do valor de 5 kW referindo-se maioritariamente ao consumo da máquina do ascensor quando a cabina se desloca vazia no sentido descendente. Também semelhante ao do cenário 1, é o valor da potência injetada na rede do edifício tendo um valor aproximado de 130 W.

Analisando o valor de consumo do sistema ao final das 24 horas de mensuração é possível compará-lo com os valores limite fornecidos pela tabela do final da normal ISO em estudo, com os parâmetros relativos às características do sistema. Em baixo, tem-se a tabela em causa (para 270 viagens) – tabela 22.

Tabela 22 Limites de consumo elétrico diário para obtenção da classe energética – Cenário 2

Classe Energética Final			
Classe eficiência energética	Consumo de energia por dia (Wh)		
	Ed	<=>	
A	1746	≤	1663,62
B			3051,69
C			5690,03
D			10760,04
E			20593,89
F			39787,01
G		>	39787,01

Através da análise da tabela é possível constatar que com o consumo do sistema do ascensor solicitado à rede de 1746 Wh, é apresentada uma classe energética final de nível B, ficando relativamente próximo do valor limite de consumo diário para a passagem para a classe A (1663,62 Wh).

Observação dos resultados entre ambos os cenários

Como se pôde constatar, o valor absoluto de consumo durante as 24 horas do cenário 1 (apenas energia eólica) foi menor do que o valor do cenário 2 (energia eólica mais fotovoltaica). Primeiramente, o número de viagens diárias do ascensor no cenário foi menor (260 comparativamente com 270 do cenário 2), porém fazendo um cálculo matemático para igualar o número de viagens verifica-se que de facto o valor de consumo exigido à rede pelo cenário 2 foi menor.

O facto dos valores de consumos serem bastante semelhantes, apesar da diferença de implementações entre ambos os cenários, deve-se à presença de uma velocidade média de vento maior entre o dia 1 de setembro e o dia 2 de setembro (cenário 1)

comparativamente com a velocidade média entre 31 de agosto e 1 de setembro (cenário 2).

4.4. RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi efetuada a análise a todos os cenários em estudo e foram apresentados resultados de cada um. Primeiramente, foi efetuada uma análise preliminar para verificar se, no caso de haver uma supressão de consumo de um sistema de elevador durante a inatividade/*standby*, para além de uma redução de consumo elétrico total ao final de um dia, existe um potencial de melhoria da classificação energética em todas as categorias de utilização, tendo sido verificada a melhoria em praticamente todas.

De seguida, foi efetuada a simulação dos cenários previstos para estudo sendo estes a utilização somente de energia eólica e a utilização de energia eólica mais fotovoltaica, estando ambas subdivididas em dois casos de estudo (um considerando valores de velocidade média de vento constante e outro considerando os valores adquiridos pelo anemómetro instalado na cobertura do edifício da Schmitt-Elevadores. Foi observado que, apesar de nem sempre se obter um período de retorno inferior à vida útil do elevador existe, na maior parte dos casos, uma redução considerável de consumo solicitado à rede e, por conseguinte, uma melhoria na classe energética do sistema.

Para finalizar, foi efetuado um estudo real no elevador de teste sendo adquiridos valores de consumo elétrico durante 24 horas para um cenário padrão (sem quaisquer implementações) e para os dois cenários em estudo. Constatou-se que houve uma redução de consumo elétrico oriundo da rede do edifício, no entanto não houve uma melhoria na classificação energética. Não obstante, a diferença entre o valor limite para passagem para a classe energética seguinte e o valor de consumo do sistema não foi muito grande, pelo que uma produção de energia (eólica e fotovoltaica) ligeiramente maior poderia traduzir-se numa melhoria da classe energética.

5. SIMULADOR EM PLATAFORMA MÓVEL

Neste capítulo será abordado o simulador de eficiência energética do ascensor concebido para plataforma móvel com sistema operativo Android. Será explicitado o seu modo de funcionamento e também será validada a veracidade dos resultados recorrendo ao simulador SEEP da Adene.

Este simulador tem com principal objetivo facultar ao utilizador um acesso fácil a uma ferramenta em plataforma móvel onde, de uma forma intuitiva, é possível simular os consumos diários e anuais de qualquer ascensor bem como obter um retorno com a classe energética final do mesmo. Fornece sugestões de potenciais melhorias ao sistema do ascensor de modo a que seja possível uma redução de consumo diário e até uma melhoria de classe energética.

5.1. INTRODUÇÃO AO PROGRAMA

Hoje em dia, a humanidade encontra-se envolvida num mundo digital, tratando-se de uma realidade incontornável. A exigência por parte dos clientes de uma determinada empresa para uma relação imediata com os serviços por si prestados têm vindo a aumentar tanto em termos de eficácia como de rapidez. As aplicações para os *smartphones* permitem ao utilizador uma interação direta com os serviços de uma entidade tendo em conta as suas necessidades, de um modo portátil e simples. O programa criado neste projeto trata-se de um simulador de eficiência energética tendo em conta a norma ISO 25745 onde, a partir da introdução de alguns parâmetros característicos do sistema do ascensor, é possível retornar não só consumos diários, anuais e a classe energética como também sugere ao utilizador possíveis implementações para redução de consumo da rede por parte do sistema.

A aplicação foi elaborada de modo a que a versão final seja simples e intuitiva para o utilizador. A aplicação solicita ao utilizador a introdução de parâmetros e alerta sempre quando um parâmetro é inválido. Em todas as janelas existe um botão de informação onde o utilizador pode pressionar de modo a obter ajuda adicional acerca da janela em questão. Em baixo, na figura 38, encontra-se o fluxograma da sequência do *software*.



Figura 38 Fluxograma da aplicação

5.2. CARACTERÍSTICAS E FUNCIONAMENTO DO SOFTWARE

A aplicação S⁺ foi desenvolvida para a plataforma móvel *Android* da Google podendo ser compatível com todos os *smartphones* que possuam este sistema operativo com a versão 4.4 (*Kitkat*) ou superior. A escolha desta plataforma móvel em detrimento das demais deveu-se principalmente à quota de utilizadores que possuem sistema operativo *Android* nos seus *smartphones*, conseguindo assim uma maior abrangência de utilizadores que pretendam usar o *software*.

Para a programação de um *software* torna-se necessário recorrer a um ambiente de desenvolvimento integrado onde estão reunidas todas as ferramentas indispensáveis para a sua criação. Para esta aplicação foi utilizado o IDE Android Studio que fornece todos os pontos necessários referidos.

Uma programação de uma aplicação *Android* é constituído normalmente por duas partes: o desenvolvimento do ambiente gráfico que será o que utilizador observará durante a utilização da aplicação e o código lógico propriamente dito que se encontra “por trás” do ambiente gráfico. O ambiente gráfico é desenvolvido em linguagem XML (*eXtensible Markup Language*) onde todo o ambiente gráfico relativo ao programa é criado, isto é texto, caixas de introdução de parâmetros, botões de interação com o utilizador, *popup's*, entre outros. A programação lógica é criada recorrendo à linguagem Java tendo como principal característica ser baseada em classes e orientada a objetos (ao contrário de outras linguagens de programação como é o caso da linguagem C). Esta questão não será detalhadamente explorada uma vez que foge ao âmbito principal da tese.

O programa é constituído por 5 janelas principais mais um *splash screen* (janela apresentada durante o arranque do programa) todas interligadas de modo a proporcionar ao utilizador uma experiência “*user friendly*”. Em baixo serão demonstradas as janelas presentes na aplicação.

Menu principal

Este menu trata-se do ponto inicial do programa onde é possível arrancar o simulador bem como ver algumas informações acerca da aplicação e os créditos. É apresentado, no *background*, um vídeo que permite visualizar alguns componentes presentes no projeto elaborado para a presente tese.

Janela de introdução de dados

Nesta janela o utilizador pode introduzir todos os parâmetros referentes ao seu ascensor e as medições efetuadas ao sistema referentes a consumos. Assim, no final da introdução dos *inputs* poderá pressionar o botão “Simular” e a aplicação calculará, tendo em conta o processo ditado pela norma ISO 25745-2, a classe energética do elevador bem como os consumos elétricos diários e anuais do sistema.

Sempre que o utilizador tenha alguma dúvida ou pretende informação acerca da janela presente, pode pressionar o botão de informação presente no canto superior direito do ecrã, surgindo uma janela *popup* com informações relevantes acerca da janela.

Janela de resultados da simulação

Após serem introduzidos os dados referentes ao ascensor, na janela anterior, serão retornado os valores referentes aos consumos diários e anuais do ascensor e qual a sua classe energética e níveis de desempenho. Neste ponto é possível ter uma referência acerca da eficiência energética do ascensor sem quaisquer implementações efetuadas.

Adicionalmente será questionado ao utilizador se pretende conhecer uma implementação que permite introduzir um potencial de melhoria não só no consumo solicitado à rede do sistema do ascensor como também na classe energética do mesmo. Se responder afirmativamente, a aplicação levará o utilizador para a janela de simulação S⁺, caso contrário será aberta a janela do menu principal e o utilizador poderá abandonar a aplicação ou recomeçar uma nova simulação.

Janela da simulação S⁺

Aqui serão solicitadas, ao utilizador, algumas questões referentes a uma potencial melhoria energética do sistema atual do ascensor. Inicialmente será solicitada a localização da instalação do ascensor e qual a tecnologia renovável pretendida para utilização de fonte alternativa (energia eólica ou energia eólica e fotovoltaica). Posteriormente, é questionado qual o valor da velocidade média de vento esperada no local e qual o período de medição desse valor de velocidade. Por fim, basta pressionar o botão de simulação e o utilizador será levado para uma nova janela de resultados.

Janela dos resultados S⁺

Após serem introduzidas algumas informações referentes ao tipo de energia renovável pretendida na janela anterior, nesta janela serão apresentados os resultados da simulação onde será feita uma comparação entre os valores antes e após as implementações sugeridas. Dentro dos parâmetros apresentados encontram-se o consumo diário do sistema antes e após as implementações e a classe energética do sistema antes e após as implementações.

5.3. VALIDAÇÃO DO SIMULADOR

Para a validação do simulador presente na aplicação criada, foi considerado um ascensor com características semelhantes ao estudado nos capítulos anteriores. Foram introduzidos todos os valores referentes aos parâmetros do ascensor tanto no simulador da SEEP como no simulador da aplicação móvel criada. Os valores considerados são os mesmos que se encontram presentes da tabela 11 do subsubcapítulo 4.2.1. Nas figuras 39 e 40 são apresentados a introdução dos dados no simulador da SEEP e os valores referentes ao resultado da simulação, respetivamente.

Horas Funcionamento	Dias funcionamento	Número Viagens	Categoria utilização
<input type="text" value="24"/>	<input type="text" value="365"/>	<input type="text" value="300"/>	<input type="text" value="3"/>

4. Dados do elevador

Informações e características técnicas do elevador

Marca	Modelo	
Tipo de tecnologia	Carga nominal (kg)	Contrapeso (%)
Tração	<input type="text" value="630"/>	<input type="text" value="50"/>
Número de pisos	Distância de curso (m)	
<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="4,5"/>	
Velocidade (m/s)	Aceleração media (m/s ²)	Jerk (m/s ³)
<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="0,5"/>	<input type="text" value="0,6"/>

5. Dados medidos/simulados

Dados obtidos ou simulados que são referidos na norma ISO 25745

Energia do ciclo de referência (Wh)	<input type="text" value="8,7"/>	Tempo abertura, manutenção e fecho porta (s)	<input type="text" value="16"/>
-------------------------------------	----------------------------------	--	---------------------------------

Caso se realize a medição de ciclo curto:

Energia de ciclo curto (Wh)	<input type="text" value="0"/>	Distância ciclo curto (m)	<input type="text" value="0"/>
-----------------------------	--------------------------------	---------------------------	--------------------------------

Potência Inativa (W)	Potência Standby (5min) (W)	Potência Standby (30min) (W)
<input type="text" value="141"/>	<input type="text" value="52"/>	<input type="text" value="52"/>

Figura 39 Introdução de dados referentes ao ascensor no simulador SEEP

Resultados Energéticos

Energia Dia (Wh)	Energia Ano (kWh)	B
<input type="text" value="2998"/>	<input type="text" value="1094"/>	
Nivel Manobra	Espc (mWh/kg.m)	
<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="1.35"/>	
Nivel standby	Potencia standby (W)	
<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="52"/>	
Espr (mWh/kg.m)		
<input type="text" value="1.53"/>		

Figura 40 Resultado da simulação SEEP

Em baixo nas figuras 41 e 42 tem-se as imagens da janela da aplicação referentes à introdução de dados do simulador e os resultados após a simulação, respetivamente. Como é possível constatar, os valores obtidos no resultado da simulação do *software* são equivalentes aos do simulador da SEEP obtidos anteriormente.

The screenshot displays the 'Simulador Eficiência Energética' application interface. At the top, there is a blue header with a back arrow, the title 'Simulador Eficiência Energética', and an information icon. The status bar shows the time as 22:33. Below the header, there are input fields for simulation parameters:

- Distância do curso (m): _____
- Velocidade nominal (m/s): 1
- Aceleração média (m/s²): 0.5
- Jerk médio (m/s³): 0.6

Below these fields is a section titled 'Dados Adquiridos' (Acquired Data) with the following values:

- Energia ciclo de referência (Wh): 8.7
- Tempo de portas (s): 16
- Medição de ciclo curto disponível?
- Energia ciclo curto (Wh): _____
- Distância ciclo curto (m): _____
- Potência inatividade (W): 141
- Potência Standby após 5 minutos (W): 52
- Potência Standby após 30 minutos (W): 52

At the bottom of the screen is a grey button labeled 'SIMULAR'.

Figura 41 Introdução de dados referentes ao ascensor na aplicação móvel

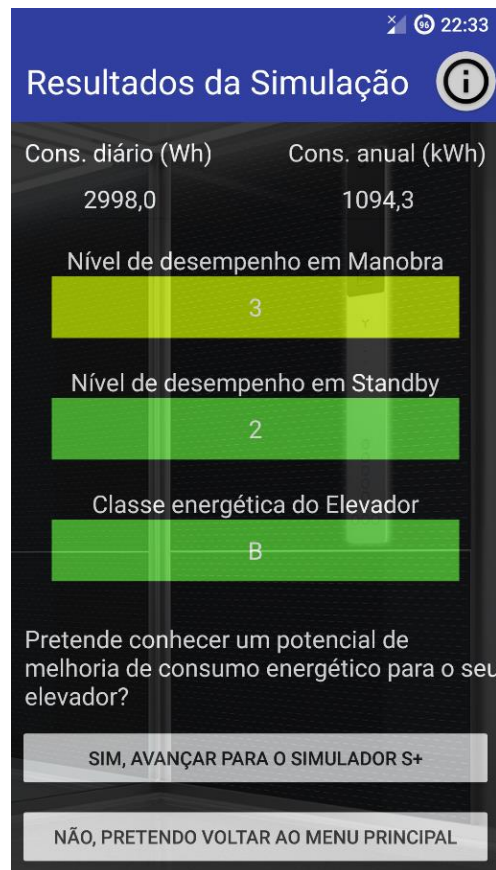


Figura 42 Resultados da simulação na aplicação móvel

5.4. RESUMO DO CAPÍTULO

Neste capítulo foi apresentada uma aplicação para plataforma móvel *Android* que permite ao utilizador, de um modo prático e intuitivo, conhecer os valores de consumos de um ascensor e qual a sua classe energética. Complementarmente, o programa também sugere ao utilizador umas possíveis implementações ao sistema original do ascensor (colocação de fontes renováveis tal como se refere o estudo apresentado neste documento) com o principal intuito de redução de consumo exigido à rede e melhoria da classe energética do sistema.

Com esta aplicação móvel o utilizador/cliente consegue ter uma perspetiva do potencial de poupança de consumo que poderá obter com a adição do aerogerador ou do aerogerador mais a eólica como fonte adicional de alimentação do sistema do ascensor.

6. CONCLUSÕES E IMPLEMENTAÇÕES FUTURAS

O constante aumento do consumo de energia tem que ser acompanhado por um comportamento de poupança por parte dos consumidores e por parte dos construtores de equipamentos consumidores de energia elétrica. O Conselho Europeu apela à necessidade de um aumento imperativo da eficiência energética na União Europeia de modo a atingir-se o objetivo da Estratégia Europa 2020. Ao longo deste documento foi possível observar que tem vindo a ser dada bastante importância à eficiência energética nos edifícios como forma de um grande potencial redução de energia elétrica uma vez que estes representam 40 % do consumo final da UE. O ascensor pode representar entre 3 a 5 % do consumo de energia elétrica de um edifício pelo que a preocupação na redução do seu consumo solicitado à rede é de grande importância.

Ao longo deste documento foram enumerados alguns métodos de redução de consumo de energia solicitado à RESP por parte de um sistema de ascensor, recorrendo a fontes de energia renovável. O potencial de redução do consumo solicitado à rede deste sistema poderá ter valores atrativos se forem reunidas as condições necessárias para uma produção de energias renováveis eficaz. Uma correta implementação de um sistema de

produção de energia para auxílio de alimentação de algumas cargas do ascensor, principalmente quando este se encontra em *Standby* (segundo o estudo E4, o *Standby* poderá estar a ocorrer até 90% do tempo) poderá trazer uma redução de consumo diário apreciável e, em teoria, um potencial de melhoria de eficiência energética. Como foi constatado, o potencial de melhoria é tanto maior quanto menor for a categoria de utilização diária do ascensor, uma vez que as implementações afetam maioritariamente o consumo do sistema quando este se encontra nestas circunstâncias.

Atualmente, para o cálculo da eficiência energética nos ascensores recorre-se à norma internacional ISO 25745 que, tal como foi estudado ao longo deste documento, tem todas as ferramentas necessárias para a obtenção de parâmetros de consumo essenciais para uma referência e um ponto de partida para potenciais melhorias de consumo e, por conseguinte, da classe energética do sistema. Tendo como base esta norma foi possível concluir que, com a alimentação do sistema recorrendo às energias renováveis, é possível eliminar parcialmente o consumo total oriundo da RESP e existe, de facto, um potencial de melhoria na classificação energética do sistema do ascensor.

Com a simulação de dois casos por cada cenário, concluiu-se que a implementação efetuada ao sistema inicial de um ascensor melhora consideravelmente o consumo elétrico solicitado à rede, havendo até em alguns casos, principalmente em categorias de utilização mais baixas, uma situação de consumo diário negativo (o sistema injetou mais energia na rede do que aquela que solicitou para alimentação das suas cargas). Considerando a energia solicitada à rede, a classificação energética do sistema do ascensor, na maioria das situações estudadas, melhora com a implementação das energias renováveis efetuada.

Em baixo, na tabela 23, tem-se um quadro síntese que resume as soluções apresentadas e quais os resultados esperados com a implementação.

Tabela 23 Tabela resumo das soluções apresentadas

	Redução de consumo	Classe energética após implementação	Período de retorno	Vantagens	Desvantagens
Cenário 1	Até 148%*	A*	A partir de 24,37 anos	Grande potencial de produção	Período de <i>payback</i>
Cenário 2	Até 196%*	A*	A partir de 16,72 anos	Período de <i>payback</i> mais reduzido	Investimento inicial

*Para a categoria de utilização 1

Com a implementação real efetuada no ascensor de teste na sede da Schmitt-Elevadores, foi possível constatar um consumo instantâneo nulo ou até negativo proveniente da rede elétrica do edifício em certas alturas do dia, devido ao uso das fontes de energia renováveis instaladas na cobertura como produção auxiliar do sistema. Com as implementações, foi observada uma redução de consumo elétrico diário de 24 % no cenário 1 (somente aerogerador em funcionamento) e de 25 % no cenário 2 (aerogerador mais módulos fotovoltaicos). De facto, houve uma semelhança entre valores, no entanto isto deveu-se maioritariamente à diferença de velocidade média de vento presente no local de estudo (no cenário 1, os valores médios da velocidade de vento foram maiores comparativamente com os valores do cenário 2).

Finalizando, com a criação da aplicação de simulação de consumos e eficiência energética de um ascensor para plataforma móvel Android, o utilizador pode agora, de uma forma mais rápida e prática, simular o consumo de um qualquer ascensor bastando, para isso, introduzir os parâmetros a este referentes. O programa retornará de imediato o consumo diário e a classificação energética do sistema do ascensor sem quaisquer implementações realizadas. Posteriormente, é efetuada uma simulação com as implementações estudadas e serão apresentados não só os consumos do sistema mas também a diferença entre os valores antigos e os novos da classificação energética.

Num ponto de vista de implementações futuras, o estudo das fontes de energias renováveis poderia ser elaborado mais aprofundadamente, isto é, o vento poderia ser analisado num período de tempo mais alargado, no mínimo durante 1 ano; o estudo de energia solar também poderia ser efetuado de um modo mais detalhado recorrendo a aparelhos de medição próprios para o efeito e não apenas às simulações do PVGIS.

Também poderia ser efetuado um estudo do vento num local mais propício uma vez que a produção eólica de energia se encontra exponencialmente dependente com a velocidade do vento no local. Com isto, obter-se-ia uma produção diária/anual com valores mais atrativos e com um *payback period* mais reduzido.

Em relação ao sistema estudado do circuito do ascensor, uma possível implementação futura poderia ser a adição de baterias elétricas uma vez que traria a vantagem de reduzir a interdependência com a rede elétrica do edifício. Alternativas mais acessíveis monetariamente de equipamentos presentes no circuito em estudo (aerogerador, módulos fotovoltaicos, inversor, entre outros) poderiam reduzir significativamente o preço da instalação e, por conseguinte reduzir também o período de retorno do investimento inicial do projeto.

Referências Documentais

- [1] L. Schumm, “Who invented the elevator? - Ask History,” 2014. [Online]. Available: <http://www.history.com/news/ask-history/who-invented-the-elevator>. [Accessed: 28-Jun-2017].
- [2] M. Bellis, “History of the Elevator,” 2017. [Online]. Available: <https://www.thoughtco.com/g00/history-of-the-elevator-1991600?i10c.referrer=>. [Accessed: 28-Jun-2017].
- [3] “Elevator History,” 2017. [Online]. Available: <http://www.columbiaelevator.com/main/elevator-history/>. [Accessed: 28-Jun-2017].
- [4] J. C. S. de Carvalho, “Utilização das Estruturas dos Elevadores para Reforço Sísmico de Edifícios Antigos,” Técnico Lisboa, 2015.
- [5] C. Woodford, “How do pulleys work?,” 2017. [Online]. Available: <http://www.explainthatstuff.com/pulleys.html>. [Accessed: 12-Jun-2017].
- [6] A. Ruben Neves, “Motor de Indução Trifásico.” [Online]. Available: <https://web.fe.up.pt/~ee02060/MIT.html>. [Accessed: 28-Jun-2017].
- [7] M. L. Franco, “Melhoria da Eficiência Energética nos Ascensores : A Recuperação de Energia,” ISEP, 2013.
- [8] Schmitt-Elevadores Lda, “Serviço Após-Venda.” 2016.
- [9] “Hydraulic Elevators Basic Components.” [Online]. Available: <http://www.electrical-knowhow.com/2012/04/hydraulic-elevators-basic-components.html>. [Accessed: 16-Jun-2017].
- [10] Express Lifts, “Hydraulic lift.” [Online]. Available: <http://www.expresslift.co.in/hydraulic.html>. [Accessed: 15-Jun-2017].

- [11] “Residential Elevators.” [Online]. Available: <http://www.house-design-coffee.com/residential-elevators.html>. [Accessed: 20-Jun-2017].
- [12] HAPE Gestão de Elevadores, “Elevadores hidráulicos e eléctricos. Quais as diferenças?” [Online]. Available: <http://hapeelevadores.blogspot.pt/2011/03/elevadores-hidraulicos-e-electricos.html>. [Accessed: 16-Sep-2017].
- [13] A. Almeida, “E4 - Energy-Efficient Elevators and Escalators - Intelligent Energy Europe - European Commission,” 2010.
- [14] “Eficiência energética nos elevadores,” *Elevare*, vol. 5, 2015.
- [15] International Organization for Standardization, “International Standard - ISO 25745-1,” vol. 1, 2012.
- [16] International Organization for Standardization, “International Standard - ISO 25745-2,” vol. 2, 2015.
- [17] A. R. dos S. Costa, “O Ruído Ambiental de Aerogeradores de Pequena Dimensão,” FEUP, 2014.
- [18] REN, “Caracterização da Rede Nacional de Transporte para efeitos de acesso à Rede,” 2016. [Online]. Available: <http://www.centrodeinformacao.ren.pt/PT/publicacoes/CaracterizacaoRNT/Caracterizacao da RNT 31-12-2016.pdf>. [Accessed: 04-Aug-2017].
- [19] R. M. G. Castro, “Introdução à Energia Eólica,” 2005.
- [20] S. F. P. S. de Oliveira, “Análise Do Comportamento Dos Aerogeradores em Situações de Anomalia,” ISEP, 2010.
- [21] E. Lundtang Petersen and I. Troen, “European Wind Atlas,” 1989.
- [22] Wind Power Program, “Wind turbine power curves.” [Online]. Available: http://www.wind-power-program.com/turbine_characteristics.htm. [Accessed: 24-Jul-2017].

- [23] A. M. Lopes, “Produção Eólica e Enquadramento,” FEUP, 2009.
- [24] “Synchronous Generator as a Wind Power Generator,” 2010. [Online]. Available: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/wind-energy/synchronous-generator.html>. [Accessed: 04-Aug-2017].
- [25] R. M. G. Castro, “Introdução à Energia Fotovoltaica,” 2002.
- [26] N. F. M. Fernandes, “Microinversor para Ligação à Rede Elétrica de Painel Fotovoltaico,” FEUP, 2013.
- [27] L. I. A. Pestana, “Estudo do recurso solar fotovoltaico: Previsão e dimensionamento de um parque fotovoltaico de média potência,” FEUP, 2017.
- [28] T. Huld, R. Müller, and A. Gambardella, “A new solar radiation database for estimating PV performance in Europe and Africa,” *Sol. Energy*, vol. 86, no. 6, pp. 1803–1815, Jun. 2012.
- [29] A. Lantero, “The War of the Currents: AC vs. DC Power,” *Dep. Energy*, 2014.
- [30] D. Isaiah, “How Does a Rectifier Work?,” 2017. [Online]. Available: <http://sciencing.com/a-rectifier-work-4964589.html>. [Accessed: 26-Jun-2017].
- [31] J. Thompson, “Transformer and Rectifier,” 2017. [Online]. Available: <http://sciencing.com/difference-between-transformer-rectifier-8659514.html>. [Accessed: 26-Jun-2017].
- [32] “Variable frequency drive Advantages & Disadvantages.” [Online]. Available: <http://www.vfds.org/variable-frequency-drive-advantages-disadvantages-581363.html>. [Accessed: 23-Jun-2017].
- [33] J. T. Jervell, “Estudo da Influência das Características do Vento no Desempenho de Aero geradores,” FEUP, 2008.

Anexo B. Tabela da frequência de ocorrência do vento

km/h	m/s	Horas
0	0,0	41,67
1,1	0,3	68
2,5	0,7	101,33
3,6	1,0	83,33
5	1,4	89
6,1	1,7	93,17
7,2	2,0	97,67
8,6	2,4	86,83
9,7	2,7	82
11,2	3,1	93,33
12,2	3,4	79,67
13,3	3,7	75,33
14,8	4,1	71,17
15,8	4,4	66,83
17,3	4,8	59,83
18,4	5,1	55,83
19,4	5,4	50
20,9	5,8	49,5
22	6,1	42
23,4	6,5	29,3
24,5	6,8	29
25,6	7,1	24,17
27	7,5	23,5
28,1	7,8	20
29,5	8,2	14,5
30,6	8,5	14,3
31,7	8,8	11,67
33,1	9,2	7,67
34,2	9,5	6,17
35,6	9,9	5,83
36,7	10,2	4,33
37,8	10,5	3,17
39,2	10,9	1,83
40,3	11,2	1,67
41,8	11,6	1
42,8	11,9	0,67
43,9	12,2	0,67
45,4	12,6	1

Anexo C. Imagens da instalação

