



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

Estudo da geração de energia elétrica proveniente da utilização de uma máquina de ginásio

ANDRÉ FILIPE FIALHO LOURENÇO

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Professor Especialista Filipe Martins Rodrigues

Júri:

Presidente: Professora Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Vogais:

Professor Doutor Mário Rui Melicio da Conceição

Professor Especialista Filipe Martins Rodrigues

Dezembro de 2018



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Departamento de Engenharia Mecânica

ISEL

Estudo da geração de energia elétrica proveniente da utilização de uma máquina de ginásio

ANDRÉ FILIPE FIALHO LOURENÇO

(Licenciado em Engenharia Mecânica)

Dissertação para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Mecânica

Orientador:

Professor Especialista Filipe Martins Rodrigues

Júri:

Presidente: Professora Doutora Cláudia Sofia Séneca da Luz Casaca

Vogais:

Professor Doutor Mário Rui Melicio da Conceição

Professor Especialista Filipe Martins Rodrigues

Dezembro de 2018

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL) e todos os professores desta instituição que de alguma forma me motivaram e cativaram para que prosseguisse com os estudos. Quero também agradecer ao Professor Filipe Rodrigues por ter aceitado este tema e desde o início me motivar e encontrar soluções para superar os desafios. Foi também o responsável pela oportunidade, que foi o ponto de partida, para visitar a fábrica Miralago, em Águeda, produtora de bicicletas, em que agradeço também aos colaboradores Pedro Santana, Diogo Santiago e Manuel Martins pelos esclarecimentos obtidos. Agradeço também ao ginásio que me permitiu as medições nas máquinas.

O percurso da Licenciatura e Mestrado a que me propus é finalizado com a entrega desta dissertação. Considero que foi um caminho difícil, que foi sempre conciliado com a parte profissional restando por vezes nenhum tempo para namorada, pais e irmãos, e amigos. Quero deixar um enorme agradecimento aos meus pais, Ana e Joaquim, pelos valores que me transmitiram, que tornaram possível a superação destes desafios. À minha irmã pela constante preocupação, orientação e pelas horas de estudo em que me apoiou desde o início. Ao meu irmão por ser meu irmão. À namorada pelas infindáveis conversas que tivemos e por todo o apoio nas horas de menor disponibilidade. E a todos os amigos por todas as vezes que não pude estar presente. A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que esta ideia fosse desenvolvida.

Resumo

Em Portugal, diariamente, milhares de pessoas frequentam ginásios com a finalidade de praticar exercícios físicos. Os utilizadores ingerem alimentos, ou seja, energia, e despendem-na em máquinas de ginásios praticando exercícios físicos, sendo essa energia desperdiçada e com potencial de ser recuperável. Paralelamente, a situação atual do planeta exige que todas as oportunidades de recuperação de energia sejam equacionadas, para que se cumpram as metas estabelecidas pelo acordo de Paris (COP 21), fazendo face às alterações climáticas que já enfrentamos. A nossa sociedade cada vez é mais dependente de energia para o quotidiano, o objetivo desta dissertação consiste em verificar a viabilidade da implementação de um sistema de recuperação da energia cinética dissipada numa máquina de ginásio. O utilizador da máquina de ginásio, ao efetuar o seu exercício físico levanta os pesos e os cabos acionam o gerador incorporado na polia. Por sua vez, o gerador irá transformar a energia mecânica em energia elétrica aos seus terminais. Essa energia elétrica será utilizada como autoconsumo na rede elétrica do ginásio. Uma vez que o potencial gerador não será superior ao consumo instantâneo do ginásio, não existe necessidade de armazenar essa energia elétrica, pois seria mais um custo para incrementar ao sistema. Foi realizada uma visita a uma fábrica de bicicletas elétricas, a Miralago, com a finalidade de conhecer a tecnologia utilizada nesse sistema. Nessa visita, fiquei a conhecer o motor de cubo, que é adequado para substituir numa polia de uma máquina de ginásio atual, de forma a recuperar a energia cinética e convertê-la para energia elétrica. Abordou-se também de uma forma simplificada, quais seriam os custos de implementação do sistema, prevendo quais seriam os equipamentos necessários para que o sistema pudesse através da energia cinética, gerar energia elétrica. Foram efetuadas medições numa máquina de ginásio, de forma a poder quantificar a energia desperdiçada numa máquina real, com um utilizador, onde foi possível medir a velocidade de rotação com recurso a um equipamento de medição denominado de tacómetro. Obteve-se dados de tempo e velocidade de rotação que foram a base do trabalho desenvolvido, tornando possível prever qual a quantidade de energia elétrica produzida e mediante os pressupostos estabelecidos.

Assim verifica-se que a potência média difere entre as duas máquinas estudadas, sendo mais favorável a máquina Puxador Vertical, com uma potência média para duas máquinas de 232 W, considerando 1.413 horas de utilização efetiva, o período de retorno do investimento realizado é cerca de 12 anos. Estes valores foram obtidos, convertendo uma máquina atual, adquirindo peças apenas para adaptar duas máquinas, e poderá tornar-se mais atrativo caso os fabricantes incluam este sistema nas máquinas já comercializadas, produzindo em escala. Devido à máquina elétrica

utilizada apenas gerar energia em dois sentidos, foi necessário equipar cada máquina com dois geradores, de forma a captar a energia cinética do movimento ascendente e descendente, aumentando a energia recuperada, mas também o custo no investimento. Caso se encontre uma forma de reduzir o número de geradores de dois para um por máquina, mantendo a energia gerada, o período de retorno do investimento irá diminuir significativamente.

Palavras-chave: Exercício físico; geração de energia elétrica; recuperação de energia cinética; autoconsumo; energia renovável.

Abstract

In Portugal, thousands of people go to gyms every day for the purpose of practicing physical exercises. Users ingest food, that is energy, and spend it on gymnasium machines practicing physical exercises, being this energy wasted and has potential to be recoverable. At the same time, the current situation of the planet requires that all opportunities for energy recovery be addressed, so that they can be fulfilled as goals defined by the Paris agreement (COP 21), combating the climate changes we have already faced. As our society is increasingly dependent on energy for everyday life, the aim of this dissertation is to verify the feasibility of implementing a kinetic energy recovery system dissipated in a gym machine. The user, when exercising, lifts the weights and the cables drive the generator incorporated in the pulley. The generator will transform the mechanical energy into electrical energy to its terminals. This electric energy will be used as self-consumption in the electrical network of the gym. Since the potential generator will not exceed the instant consumption of the gym, there is no need to store this electric energy, as it would be a cost to increase the system. A visit to a factory of electric bicycles, Miralago, was carried out in order to know the technology used in this system. On that visit, I got to know the hub motor, which is suitable for replacing on a pulley of a current gym machine, in order to recover the kinetic energy and convert it to electric power. It was also addressed in a simplified way, what would be the costs of implementing the system, predicting what equipment would be necessary for the system to be able to generate electricity through kinetic energy. Measurements were carried out on a gym machine in order to quantify the energy wasted on an actual machine with a user, where it was possible to measure the speed of rotation using a metering equipment called a tachometer. It was obtained data of time and speed of rotation that were the basis of the work developed, making it possible to predict the amount of electric energy produced and the established assumptions. Thus, it is verified that the average power differs between the two machines studied, being more favorable the Vertical Handle machine, with an average power for two machines of 232 W, considering 1.413 hours of effective use, the payback period is about of 12 years. These values were obtained by converting a current machine, acquiring parts only to adapt two machines, and could become more attractive if the manufacturers include this system in the already commercialized machines, producing in scale. Due to the electric machine used only to generate energy in two directions, it was necessary to equip each machine with two generators, in order to capture the kinetic energy of the up and down movement, increasing the recovered energy but also increasing the investment cost. If a way is found to reduce the number of generators from two to

one per machine, keeping the energy generated, the payback period of the investment will decrease significantly.

Keywords: Physical exercise; electric power generation; kinetic energy recovery; self-consumption; renewable energy.

Lista de Símbolos

Símbolo	Designação
\bar{a}	Aceleração média [m/s^2]
a	Aceleração [m/s^2]
d	Diâmetro
F	Força [N]
M	Binário aplicado [J]
m	Massa [kg]
m^*	Massa instantânea levantada pelo utilizador [kg]
n	Rotações por minuto [min^{-1}]
p	Perímetro (m)
P	Potência [W]
P_{ele}	Potência elétrica [W]
r	Raio da polia [m]
T	Tensão imposta à correia [N]
t_f	Tempo final [s]
t_i	Tempo inicial [s]
v_f	Velocidade final [m/s]
v_i	Velocidade inicial [m/s]
η_{gerador}	Rendimento do gerador [%]
η_{inversor}	Rendimento do inversor [%]
ω	Velocidade de rotação [rad/s]

Abreviaturas

Sigla	Designação
AC	Corrente alternada
AGAP	Associação de Empresas de Ginásios e Academias de Portugal
APREN	Associação Portuguesa de Energias Renováveis
CEP	Consumo de Energia Primária
DC	Corrente continua
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
GDP	Português Produto interno Bruto (<i>Gross domestic product</i>)
MIBEL	Mercado Ibérico de Eletricidade
PIB	Produto interno Bruto
PNEE	Plano Nacional para a Eficiência Energética
REN	Rede energética nacional
RESP	Rede elétrica de serviço público
SERUP	Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção
TEP	Tonelada Equivalente de Petróleo
UPAC	Unidades de produção para autoconsumo
UPP	Unidades de pequena produção

Conteúdo

1. Introdução.....	1
1.1. Consumo e acesso à energia elétrica	3
1.2. Consumo de energia renovável em Portugal	6
1.3. Motivação	9
2. Estado da arte	11
2.1. Sistemas semelhantes	11
2.2. Tecnologia utilizada.....	14
3. Metodologias e discussão de resultados.....	18
3.1. Aplicação	18
3.1.1. Visita à Miralago	18
3.1.2. Visita a uma cadeia de ginásios em Oeiras	18
3.1.3. Medições realizadas	20
3.2. Dimensionamento.....	25
3.3. Viabilidade	32
3.3.1. Custo da energia elétrica.....	32
3.3.2. Cálculo do número de horas de funcionamento do sistema.....	33
3.3.3. Cálculo da energia produzida.....	34
3.3.4. Orçamento e viabilidade alcançada.....	35
3.4. Registo legal do sistema de produção de energia elétrica	37
4. Conclusão	38
Referências	41
Anexos.....	46
Anexo A – Medições realizadas nas máquinas de ginásio.....	46
Anexo B – Cálculos realizados para a máquina puxador vertical – 1ª Série (25kg).....	48
Anexo C – Cálculos realizados para a máquina puxador vertical – 2ª Série (39kg).....	49
Anexo D – Cálculos realizados para a máquina puxador vertical – 3ª Série (52kg).....	50

Anexo E – Cálculos realizados para a máquina flexor – 1ª Série (52kg).....	51
Anexo F – Motor Bafang FM G020.350.D.....	52
Anexo G – Inversor selecionado	53
Anexo H - Contador de energia elétrica (kWh)	55

Índice de ilustrações

FIGURA 1 – METODOLOGIA DO SISTEMA	1
FIGURA 2 - CONSUMO MUNDIAL DE ENERGIA PRIMÁRIA (MTOE) [ENERGYACADEMY14].....	3
FIGURA 3- CONSUMO DE ENERGIA PRIMÁRIA, POPULAÇÃO E PIB [ENERGYACADEMY14]	4
FIGURA 4 - ACESSO À ELETRICIDADE A NÍVEL MUNDIAL [OLIVIER13].....	4
FIGURA 5 - PREVISÃO DE CONSUMOS MUNDIAIS DE TEP [ENERGYACADEMY14]	5
FIGURA 6 - EMISSÃO GLOBAL DE CO2 POR REGIÃO [OLIVIER13]	5
FIGURA 7 - FONTES DE PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE EM PORTUGAL [APREN18].....	6
FIGURA 8 - POTÊNCIA INSTALADA EM PORTUGAL DE 2000-2017 [APREN18]	7
FIGURA 9 - PESO DAS ELETRICIDADE DE ORIGEM RENOVÁVEIS [APREN18].....	7
FIGURA 10 - PESO DAS ELETRICIDADE DE ORIGEM RENOVÁVEIS [APREN18].....	8
FIGURA 11 – PREÇO DE MERCADO VS PRODUÇÃO RENOVÁVEL EM PORTUGAL [APREN18].....	8
FIGURA 12 - ESQUEMA SIMPLIFICADO DE FLUXO [SPORTSART18].....	11
FIGURA 13 - GERADOR ELÉTRICO DE MANIVELA [K-TOR18].....	12
FIGURA 14 – ELÍPTICA GERADORA DE ENERGIA ELÉTRICA [SPORTSART18]	12
FIGURA 15 – PASSADEIRA GERADORA DE ENERGIA ELÉTRICA [SPORTSART18].....	13
FIGURA 16 – PASSADEIRA GERADORA DE ENERGIA ELÉTRICA [SPORTSART18].....	13
FIGURA 17 - SIMULAÇÃO IMPACTO BICICLETA GERADORA DE ENERGIA. [SPORTSART18]	14
FIGURA 18 - MOTOR TRIFÁSICO SEM ESCOVAS DE CORRENTE CONTÍNUA [ELECTRICALBABA18]	14
FIGURA 19 - ESQUEMA DOS COMPONENTES MOTOR DE CORRENTE CONTINUA [WEG].....	15
FIGURA 20 - MOTOR DC COM ESCOVAS [BHATIA13].....	16
FIGURA 21 - IMAGEM ILUSTRADORA DA APLICAÇÃO DOS DOIS GERADORES.....	17
FIGURA 22 – PUXADOR VERTICAL	18
FIGURA 23 – FLEXOR DE PERNA	19
FIGURA 24 - MOVIMENTO EFETUADO [MATRIXFITNESS18].....	19
FIGURA 25 – MÁQUINA PUXADOR VERTICAL [MATRIXFITNESS18]	20
FIGURA 26 - SISTEMA DE ROLDANAS EM DETALHE [MATRIXFITNESS18].....	20
FIGURA 27 – MOTOR DE CUBO DE RODA FORNECIDO PELA MIRALAGO [ELECTRICBIKE18]	21
FIGURA 28 - DESENHO DE COTAS DO MOTOR SELECIONADO [ALIEXPRESS18]	21
FIGURA 29 - DIMENSÕES DA CORREIA	22
FIGURA 30 - POLIA DO EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO E DA MÁQUINA DE GINÁSIO	23
FIGURA 31 - EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO.....	24
FIGURA 32 - MEDIÇÃO EM PUXADOR VERTICAL	24
FIGURA 33 - MEDIÇÃO EM FLEXOR DE PERNA	24
FIGURA 34 - ROTAÇÕES POR MINUTO POR MÁQUINA (MEDIDA COM O TACÓMETRO)	26

FIGURA 35 - VELOCIDADE LINEAR EM METROS POR SEGUNDO.....	26
FIGURA 36 - ACELERAÇÃO IMPOSTA PELO UTILIZADOR AO SISTEMA	27
FIGURA 37 - MASSA EM QUILOGRAMAS APLICADA PELO UTILIZADOR.....	28
FIGURA 38 - DIAGRAMA DE CORPO LIVRE – ROLDANA.....	28
FIGURA 39 - POLIA DO EQUIPAMENTO E ATRIBUIÇÃO DOS SENTIDOS DE ROTAÇÃO	29
FIGURA 40 - MOMENTO APLICADO NO GERADOR PELO UTILIZADOR	29
FIGURA 41 - POTÊNCIA MECÂNICA GERADA PELA AÇÃO DO UTILIZADOR	30
FIGURA 42 - POTÊNCIA ELÉTRICA GERADA POR MÁQUINA	31
FIGURA 43 – BALANÇO FINAL	39
FIGURA 44 – PONTOS-CHAVE DO TRABALHO.....	40
FIGURA 45 - CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO MOTOR SELECIONADO [BAFANG18]	52
FIGURA 46 - ORÇAMENTO PARA O MOTOR SELECIONADO [ALIEXPRESS18].....	52
FIGURA 47 - CARACTERÍSTICAS INVERSOR SELECIONADO [ALIEXPRESS18].....	53
FIGURA 48 - INVERSOR SELECIONADO [ALIEXPRESS18]	53
FIGURA 49 - DIMENSÕES DO INVERSOR [ALIEXPRESS18].....	54
FIGURA 50 - ORÇAMENTO PARA O INVERSOR SELECIONADO [ALIEXPRESS18]	54
FIGURA 51 - CONTADOR DE ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA [SERVELEC18]	55

Índice de Tabelas

TABELA 1 - DESAGREGAÇÃO DE ENERGIA DIÁRIA DE UM SER HUMANO	10
TABELA 2 - EXEMPLO DE CONVERSÃO DAS RELAÇÕES DE TRANSMISSÃO	23
TABELA 3 - EXERCÍCIOS REALIZADOS NAS MÁQUINAS DE GINÁSIO	25
TABELA 4 - DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE HORAS DE UMA SEMANA TÍPICA	32
TABELA 5 - DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE HORAS DO PERÍODO DE FUNCIONAMENTO.....	33
TABELA 6 - RESUMO DA ENERGIA PRODUZIDA DO SISTEMA	34
TABELA 7 - ORÇAMENTO CONSIDERADO PARA A INSTALAÇÃO DO SISTEMA.....	35
TABELA 8 - RAZÃO POTÊNCIA/INVESTIMENTO	35
TABELA 9 - QUADRO DE VIABILIDADE	36
TABELA 10 - LISTA DE PRESSUPOSTOS	36
TABELA 11 - DADOS OBTIDOS NAS MEDIÇÕES REALIZADAS NAS MÁQUINAS DE GINÁSIO	46

1. Introdução

Esta dissertação pretende apresentar um estudo da geração de energia elétrica proveniente da utilização de uma máquina de ginásio. Esta oportunidade foi detetada devido à frequência de um ginásio local, em que se verificou que os utilizadores vão para este local gastar as suas calorias para promover a atividade física. Ora, essa energia despendida é dissipada, sem qualquer aproveitamento, e é passível de ser recuperada, incorporando um sistema que permita converter a energia cinética que o utilizador impõe à máquina, convertendo-a posteriormente em energia elétrica, podendo o ginásio utilizar como autoconsumo na sua rede. A necessidade de acumulação de energia elétrica em baterias não se prevê necessária, pois a energia gerada será sempre inferior à energia consumida pelo ginásio em iluminação, sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, entre outros.

A metodologia apresentada no estudo será exibida na Figura 1:

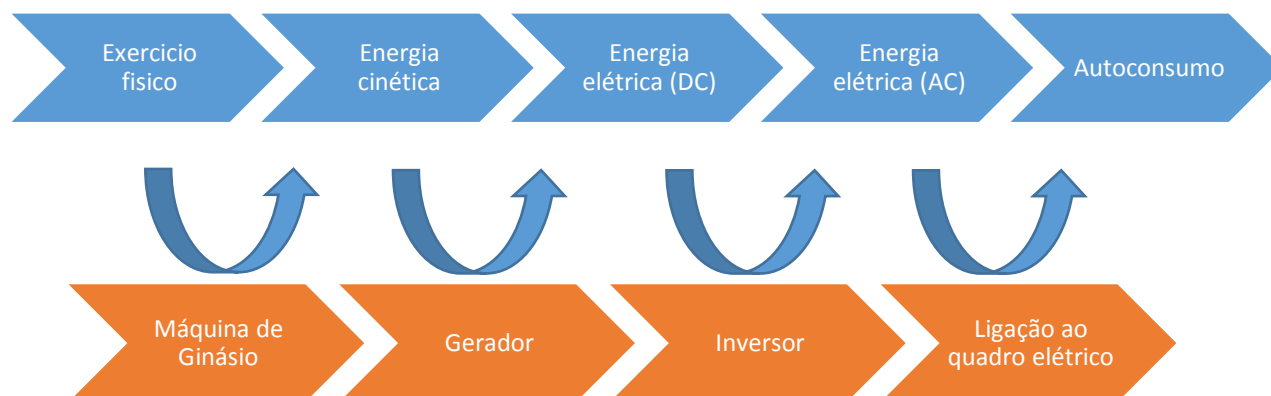


Figura 1 – Metodologia do sistema

O exercício físico associado a uma máquina de ginásio produz energia cinética nas polias, e se forem acopladas a um gerador de corrente contínua gera energia elétrica. Essa energia elétrica através de um inversor será convertida para corrente alternada, e se for ligada ao quadro elétrico da instalação¹ será utilizada como autoconsumo. Assim a instalação em causa, irá consumir menos energia da rede, já que irá consumir energia proveniente deste sistema.

Os objetivos estabelecidos do estudo são:

¹ A ligação ao quadro elétrico da instalação irá necessitar de estudos mais profundos de forma a garantir a qualidade da energia.

- Estabelecer um conjunto de pressupostos justificável (períodos de utilização, pausas, velocidade, curso, entre outros);
- Estudo de hipóteses para incorporar no sistema;
- Estimar os custos de instalação e os benefícios;
- Prever o período de retorno do investimento;
- Qual o peso do autoconsumo na instalação.

A dissertação está organizada nos seguintes subcapítulos:

- Estado atual do consumo de energia a nível mundial em Portugal, abordando também a produção de energia elétrica por fontes renováveis;
- Estado da arte, onde o objetivo é compreender qual o estado atual da tecnologia (compreendida por sistemas geradores de energia elétrica, através da ação humana). Sempre que possível se irá recorrer a documentos científicos ou livros editados. No entanto, devido ao sistema não existir comercializado nos moldes já referidos, será necessário recorrer a páginas de internet de empresas que comercializam estes produtos, para que se conheça também o que está disponível ao consumidor;
- Um capítulo de aplicação, onde o objetivo é visitar um ginásio local, com a finalidade de realizar medições que permitam avaliar a exequibilidade do sistema e qual o seu potencial de geração de energia elétrica. Está prevista também uma visita a uma fábrica de bicicletas elétricas Miralago, que será fundamental para compreender os fenómenos com profissionais da área;
- Após a realização das medições e obtendo conhecimento fundamental sobre a tecnologia, irá abordar-se quais os métodos utilizados para dimensionar o sistema, de forma a que as medições realizadas sejam convertidas em energia elétrica;
- O capítulo da viabilidade pretende avaliar qual o custo de implementação do sistema e quantidade de energia elétrica produzida anualmente. Será apresentado também um período de retorno do investimento expectável. Um conjunto de pressupostos será considerado e apresentado;

- Para o equipamento cumpra a legislação, será apresentado um excerto do documento aplicável, seguido de uma conclusão sobre qual o enquadramento do sistema;
- Por final, será apresentado uma conclusão para o estudo.

1.1. Consumo e acesso à energia elétrica

Um dos maiores problemas da nossa civilização é precisamente as necessidades de energia, que continuam a aumentar e como tal, é necessário encontrar novas formas de a fornecer, visto que a maioria da energia utilizada no planeta é de fonte não renovável, logo esgotável. A Figura 2 ilustra o consumo de energia primária mundial, ao longo do tempo, e distinguida por fonte de energia.

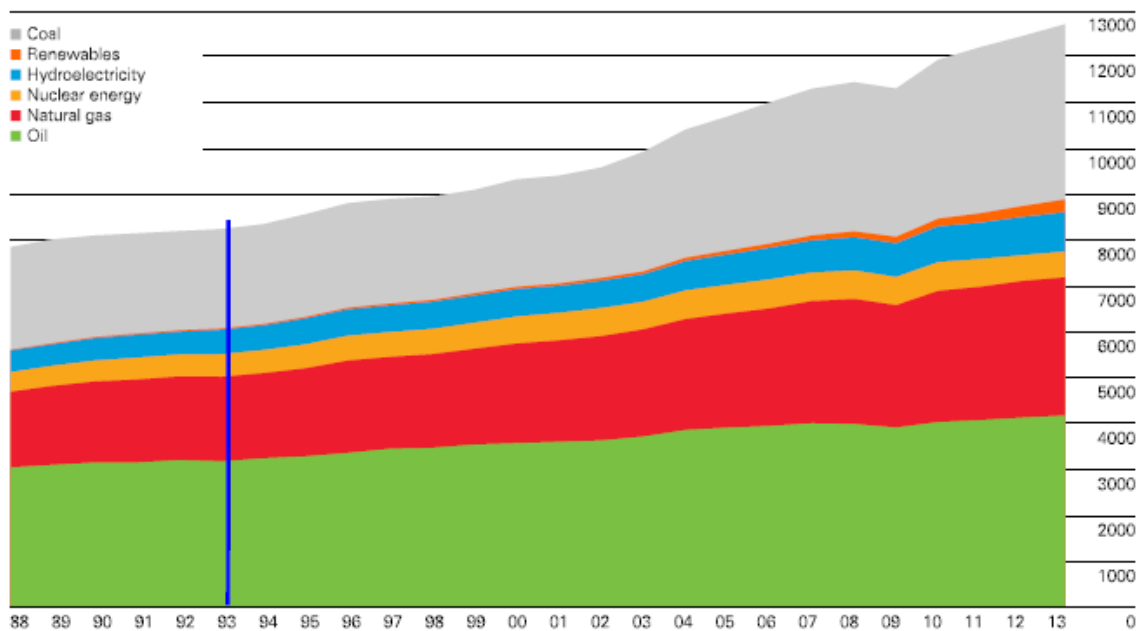


Figura 2 - Consumo mundial de energia primária (Mtoe) [EnergyAcademy14]

O crescimento da população mundial é inevitavelmente uma variável diretamente proporcional ao aumento do consumo de energia. O Produto Interno Bruto (GDP na Figura 3) dos países é fundamental no seu consumo de energia.

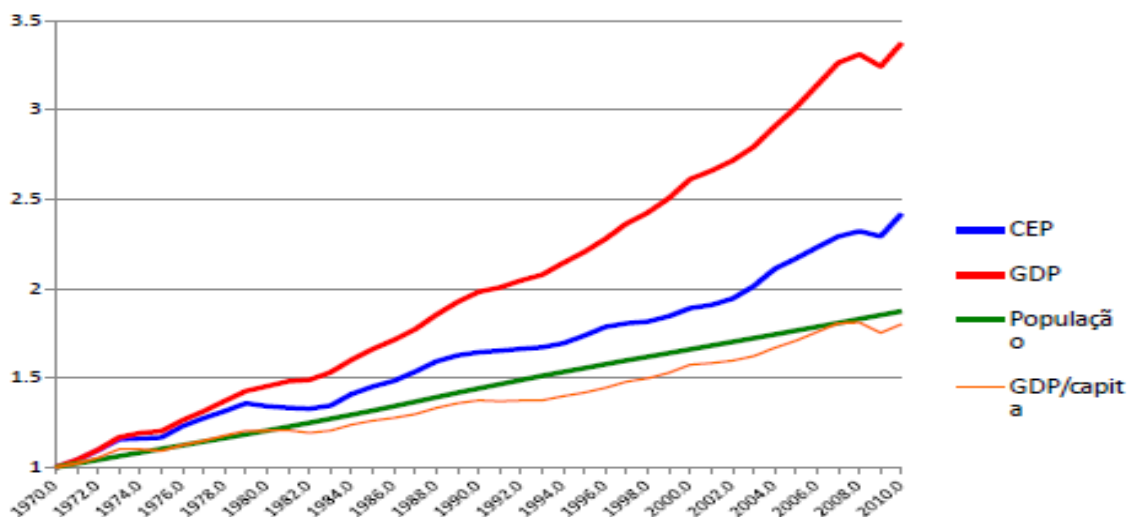


Figura 3- Consumo de energia primária, população e PIB [EnergyAcademy14]

É sabido que nem toda a população mundial tem acesso a energia elétrica. Em 2009, a taxa de eletrificação Mundial estava em cerca de 81%, significa que existiam mais de 2 000 000 000 de pessoas sem acesso à rede elétrica [Olivier13], como mostra a Figura 4.

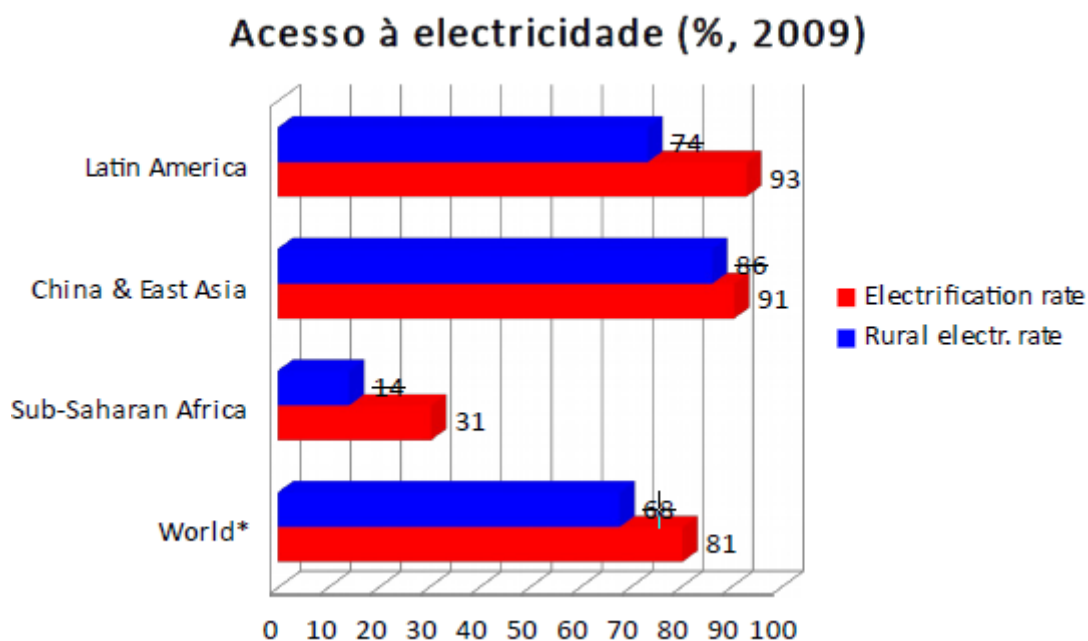


Figura 4 - Acesso à eletricidade a nível mundial [Olivier13]

Ao longo do tempo, a taxa de eletrificação tem tendência a melhorar e é aproximada aos 100%. No entanto, e devido ao acesso ser concedido e ao crescimento dos países em desenvolvimento, é estimado que a quantidade de energia consumida irá atingir um pico, por volta de 2030, como é ilustrado na Figura 5:

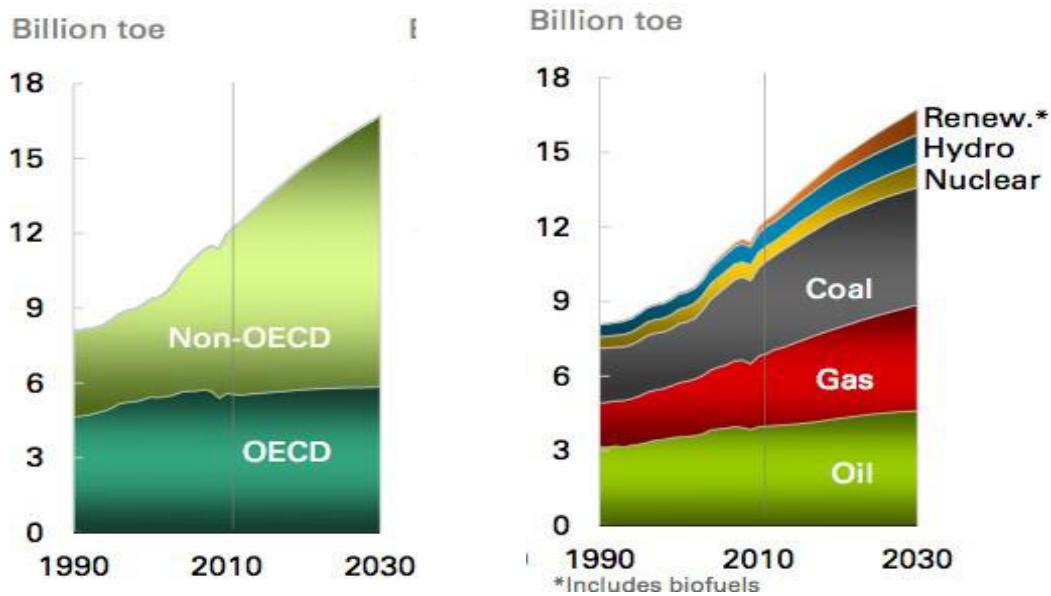


Figura 5 - Previsão de consumos mundiais de Tep [EnergyAcademy14]

O aumento de consumo de energia irá provocar um aumento também das emissões, que poderá colocar em risco a possibilidade de vida no nosso planeta, devido às emissões de CO₂ e de outros gases com efeitos de estufa. Na Figura 6 verifica-se que as emissões tendem a diminuir nos países desenvolvidos e a aumentar nos países em desenvolvimento.

Global CO₂ emissions per region from fossil-fuel use and cement production

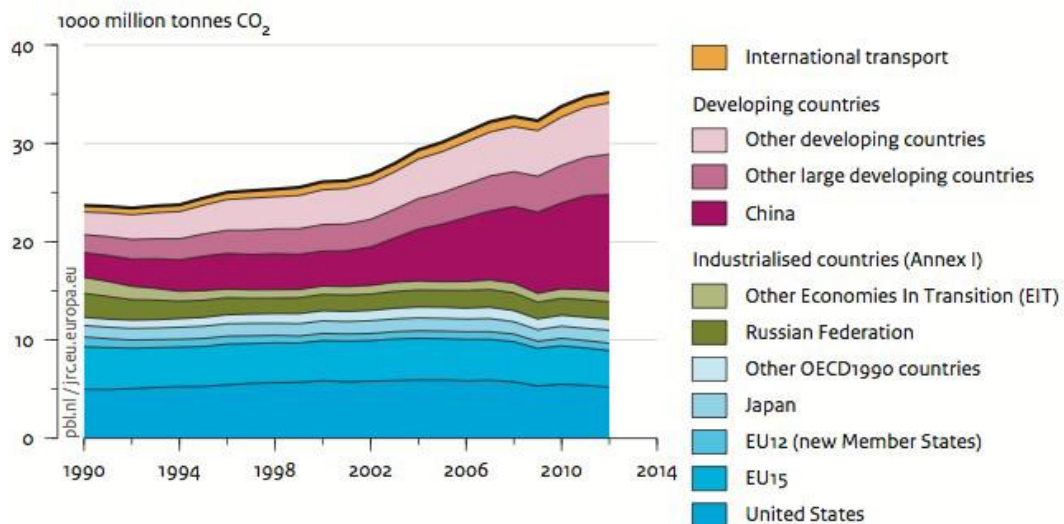


Figura 6 - Emissão global de CO₂ por região [Olivier13]

A China e outros países em desenvolvimento aumentaram significativamente as suas emissões anuais e ao mesmo tempo que os países desenvolvidos e os de transição conseguiram reduzir ligeiramente.

1.2. Consumo de energia renovável em Portugal

Em países como Portugal, o consumo de energia tem-se mantido estável nos últimos dez anos, com tendência a longo prazo, através do Plano Nacional de Eficiência Energética, a redução a quantidade de energia consumida, tal como verificado na Figura 7.

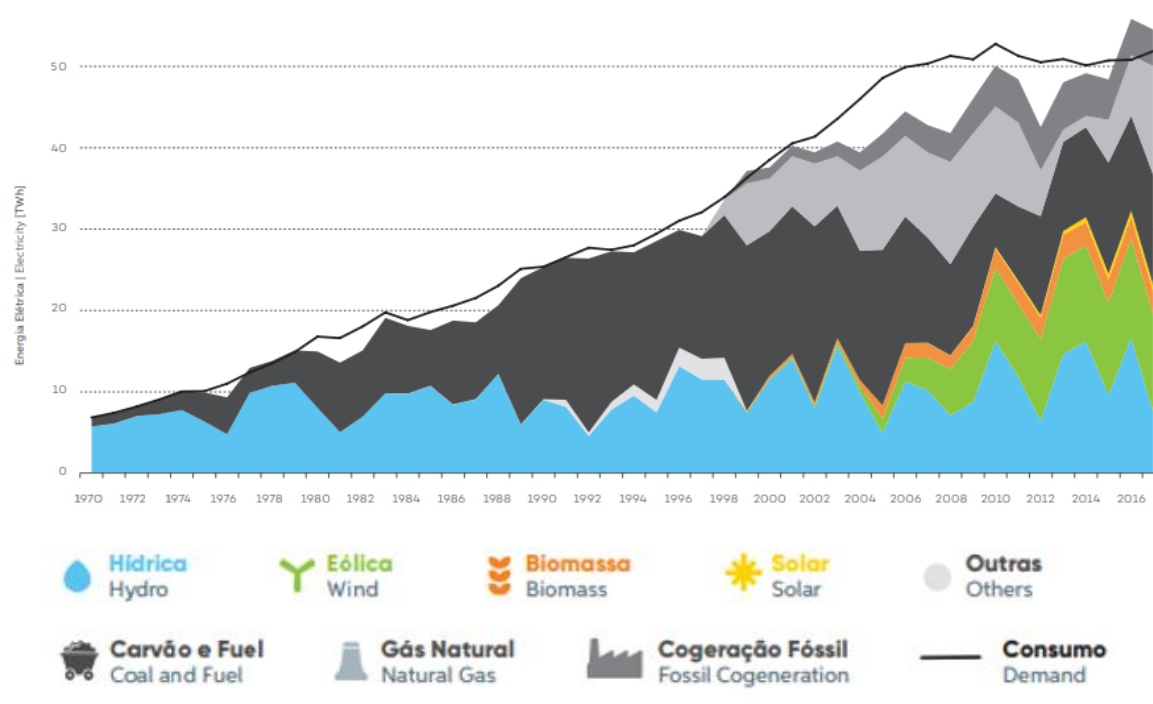


Figura 7 - Fontes de produção de eletricidade em Portugal [APREN18]

Nos últimos 15 anos verificou-se um crescimento elevado no que diz respeito à produção de energia elétrica a partir de fontes renováveis, um esforço de todos os envolvidos que nos permitiu consolidar uma posição de referência a nível Mundial.

A energia renovável tem-se revelado um investimento duradouro em Portugal. Este tipo de investimento é positivo para o País, para o grupo em que se insere e para o planeta em geral, pois não contribui diretamente para a produção de emissões poluentes. Em dezembro de 2013, Portugal tinha uma potência de energia renovável instalada de cerca de 11.312 MW de potência instalada [DGEG13], estando numa posição destacada a nível mundial.

Na Figura 8 é possível analisar a evolução da potência instalada de energia renovável no período de 2000 a 2017, assim como a potência total do parque electroprodutor Português.

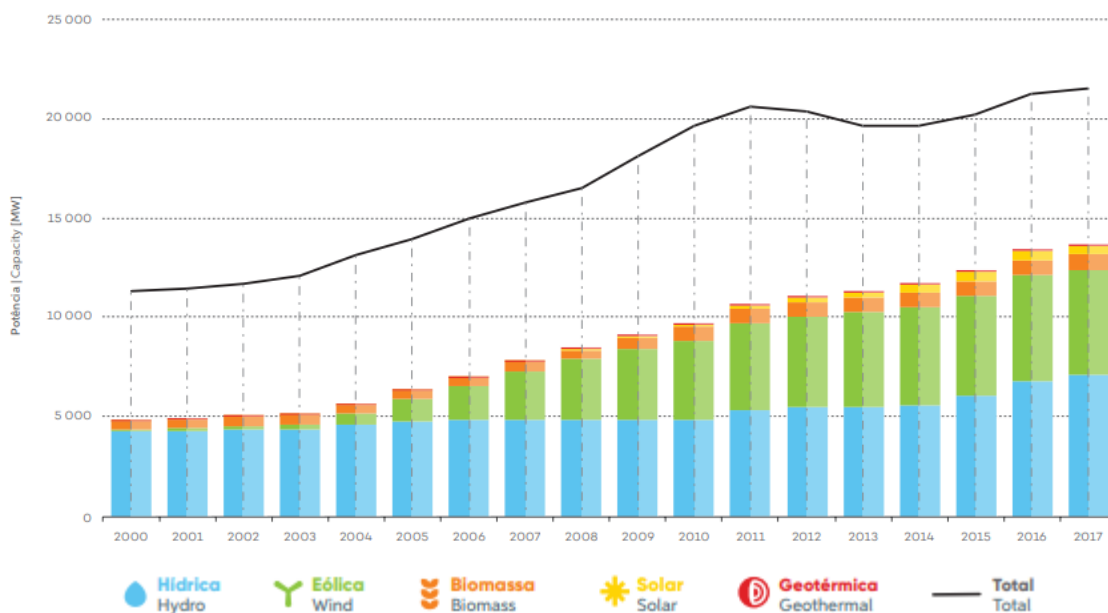


Figura 8 - Potência instalada em Portugal de 2000-2017 [APREN18]

Como a potência instalada de energia renovável tem aumentado significativamente, o seu peso na energia total tem aumentado, sendo atualmente já superior a 50% da energia produzida, sendo possível verificar a evolução na Figura 9.

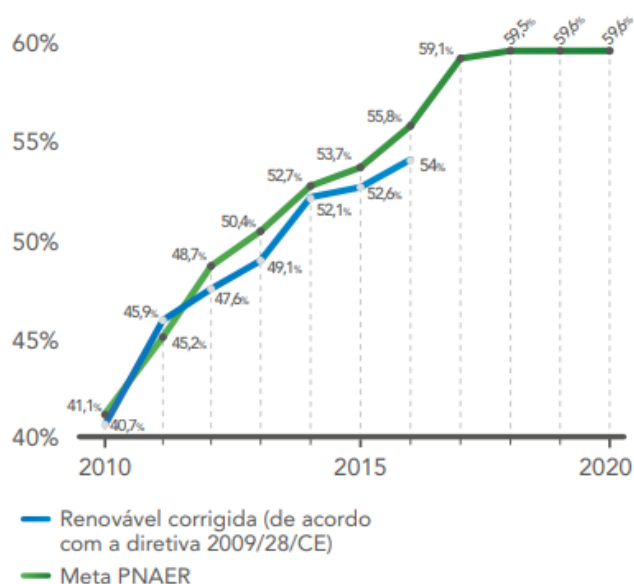


Figura 9 - Peso das Eletricidade de origem Renováveis [APREN18]

A produção de energia renovável, durante o período de janeiro a novembro de 2018, em Portugal foi de 62,1%, como ilustra a Figura 10:

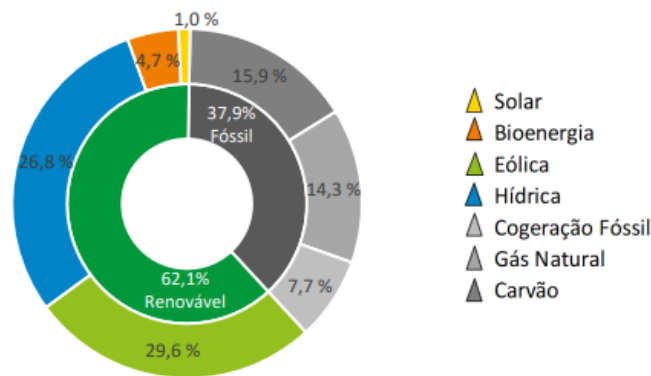


Figura 10 - Peso das Eletricidade de origem Renováveis [APREN18]

No primeiro trimestre de 2018, Portugal a produção de eletricidade a partir de fontes renováveis superou o consumo, reduzindo os preços da eletricidade no mercado grossista e gerando um saldo exportador de eletricidade de 863 GWh [REN18]. Como se sabe, o mês de março de 2018 foi um mês peculiar, sendo o 2º mais chuvoso desde 1931 [IPMA18], contribuindo significativamente para alcançar estes resultados.

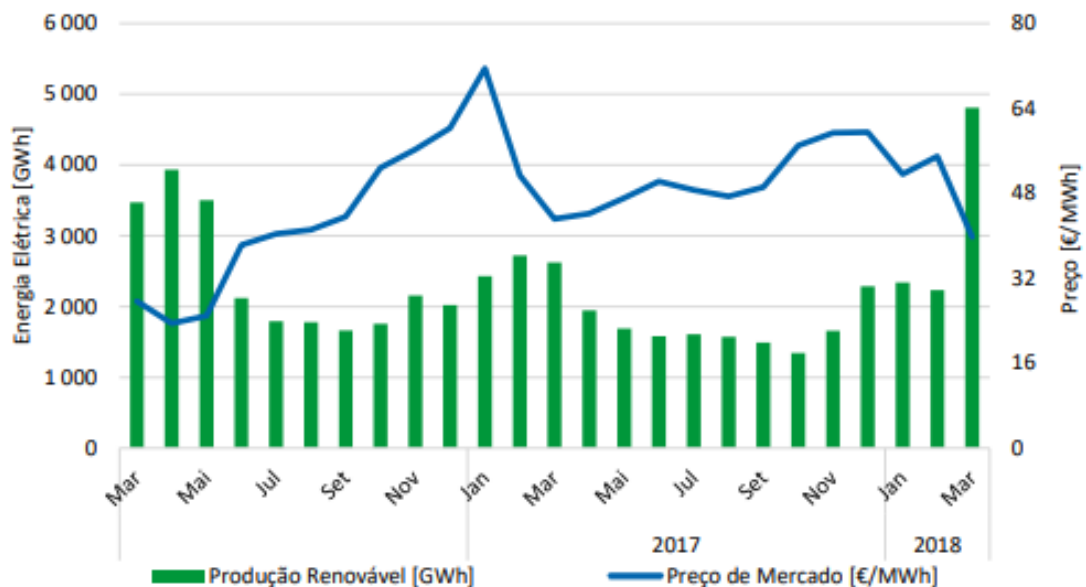


Figura 11 – Preço de mercado vs Produção renovável em Portugal [APREN18]

Com a finalidade de esclarecer a influência da produção renovável no preço da energia, será necessário analisar a Figura 11. Verifica-se que à medida que a produção renovável

aumenta os preços descem, verificando-se o caso do mês de março de 2018, onde a produção foi bastante elevada. À medida que a produção renovável reduz, tipicamente em meses de temperaturas mais elevadas, o preço da energia elétrica tendencialmente aumenta. O ano apresentado foi um ano de seca extrema no território, tendo influência na produção renovável e por consequência no preço. Esta conjuntura permite no mês de março, através do Mercado Ibérico de Eletricidade (MIBEL) que Portugal seja um país exportador de eletricidade com os sistemas elétricos vizinhos.

1.3. Motivação

Segundo o relatório da Associação de Empresas de Ginásios e Academias em Portugal [AGAP16], “Barómetro de 2016”, indica que existem cerca de 530.000 clientes que utilizam espaços onde dissipam energia em Portugal [AGAP16]. Perante este desperdício, este documento tem a finalidade de analisar a viabilidade de instalação de um sistema que possa converter a energia cinética dissipada numa máquina de ginásio em energia elétrica, para autoconsumo na instalação. Este estudo contribui também para a diminuição dos encargos com a energia que os ginásios suportam, reduzindo também as emissões que daí advêm. Os ginásios no futuro terão possibilidade de se tornarem locais onde é produzida energia, suficiente ou não para fazer face ao seu consumo, podendo até atingir a neutralidade carbónica. A nossa sociedade é cada vez mais dependente da energia elétrica, a motivação surge com possibilidade de aproveitar um desperdício assumido por todos nós. Os utilizadores mantêm a sua forma física fazendo exercícios de musculação ou recuperação física, fisioterapia, entre outros. Se analisarmos o ciclo de energia é evidente que se está perante um desperdício. De acordo com “Estimativa do gasto energético” [Machado12] o ser humano gasta energia essencialmente em 3 formas:

- Taxa metabólica basal ou de repouso 60%
- Efeito térmico dos alimentos 10%
- Gasto em atividade física 30%.

Ora se um Homem em média deve ingerir cerca de 3.000 kcal/dia, fazendo uma desagregação de energia, e de acordo com a Tabela 1, obtém-se a energia diária para as funções básicas do organismo humano.

Tabela 1 - Desagregação de energia diária de um ser humano

Ação	%	kcal/dia
Energia ingerida por dia	100	3000
Taxa metabólica basal ou de repouso	60	1800
Efeito térmico dos alimentos	10	300
Gasto em atividade física	30	900

Verifica-se que o ser humano tem reservado cerca de 900 kcal/dia para atividade física. Foi também possível apurar, que uma pessoa em média, numa hora e a carga moderada, consegue gastar 441 kcal, aproximadamente 512 W. [Fatsecret18]

2. Estado da arte

2.1. Sistemas semelhantes

Em relação ao estado atual da arte existem diversos equipamentos que utilizam o mesmo conceito físico, em que se utiliza a ação do corpo humano para criar energia cinética e através do mesmo sistema de gerador, captando essa energia e convertê-la para energia elétrica. A Figura 12 analisa o processo de transformação de energia cinética, proveniente da ação humana para energia elétrica.

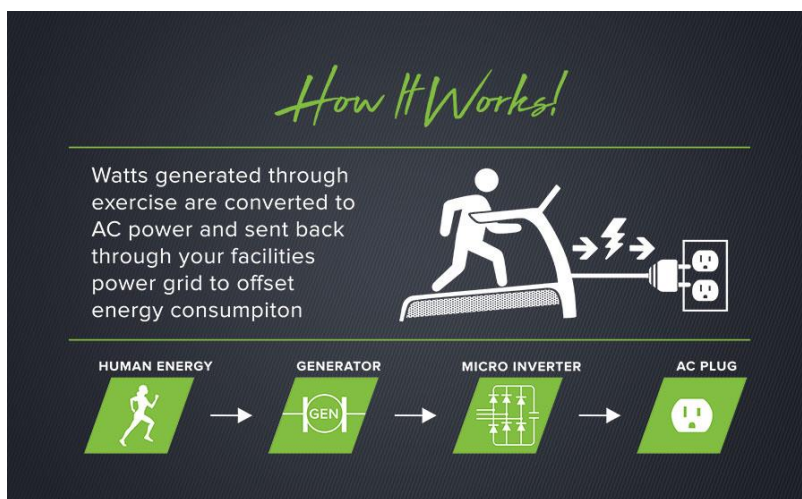


Figura 12 - Esquema simplificado de fluxo [Sportsart18]

O equipamento de seguida apresentado na Figura 13 é um gerador de manivela, que ao aplicar-se um momento na manivela, irá gerar-se energia elétrica através do gerador elétrico presente no interior do equipamento. Posteriormente a corrente gerada será retificada de forma a cumprir as especificações de acordo com a finalidade.



Figura 13 - Gerador elétrico de manivela [K-Tor18]

Este gerador elétrico de manivela carece de menos energia aplicada que o sistema aqui projetado, mas satisfaz as necessidades finais.

Existem outros sistemas que necessitam de um maior esforço físico tais como as bicicletas estáticas, máquina de elíptica (Figura 14) ou passadeiras (Figura 15), em que o princípio de funcionamento é idêntico, mas numa maior escala. Seguem alguns exemplos de aplicações em concreto.

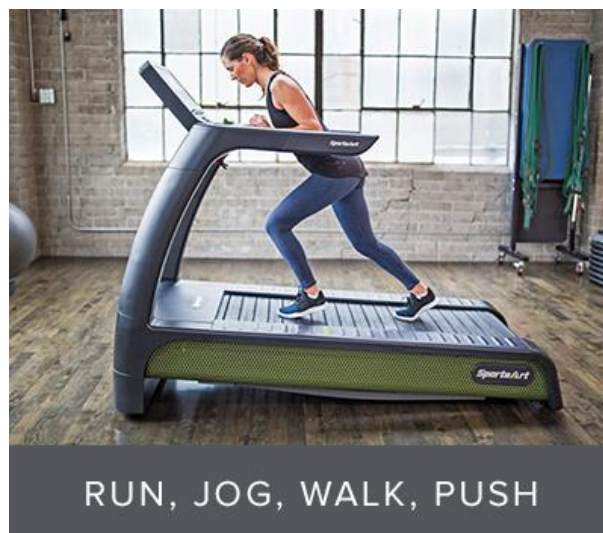


Figura 14 – Elíptica geradora de energia elétrica [Sportsart18]



Figura 15 – Passadeira geradora de energia elétrica [Sportsart18]



Figura 16 – Passadeira geradora de energia elétrica [Sportsart18]

A bicicleta elétrica da Figura 16, que tem a capacidade de gerar energia elétrica, tem uma potência máxima anunciada é de 250 W [Sportsart18], e é possível na página da empresa calcular o impacto da utilização de uma máquina, considerando 160 W de produção e 1,5 horas de utilização a 365 dias. Neste sentido a energia elétrica gerada por ano é de 357 kWh, tal como evidenciado na Figura 17.

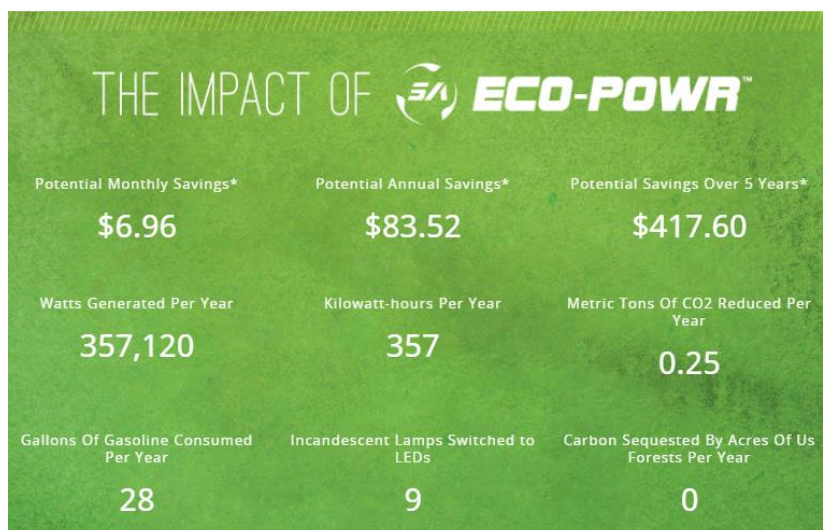


Figura 17 - Simulação impacto bicicleta geradora de energia. [Sportsart18]

Para a aplicação deste sistema a uma máquina de ginásio comum, não foi encontrada qualquer evidência.

2.2. Tecnologia utilizada

Para incorporar neste sistema foi selecionado uma máquina elétrica funcionando como gerador de corrente contínua, sem escovas. Têm vantagens interessantes face aos geradores com escovas, nomeadamente a sua fiabilidade ser maior, menores custos de manutenção devido a não ser necessário substituir escovas, menor ruído e maior durabilidade [Gieras10]. O gerador de corrente contínua é constituído principalmente por duas partes, estator e rotor. De seguida, será apresentada a Figura 18 que exemplifica uma máquina elétrica trifásica.

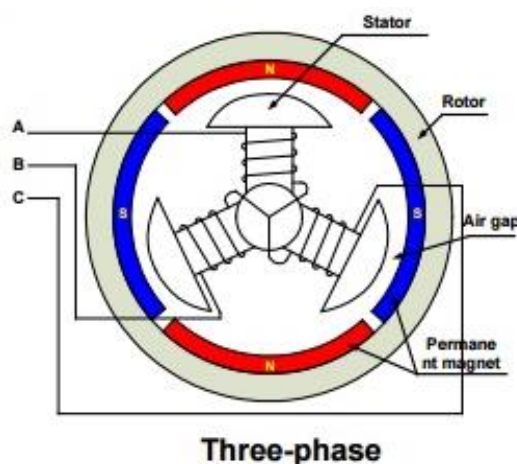


Figura 18 - Motor trifásico sem escovas de corrente contínua [ElectricalBaba18]

Um motor é uma máquina que converte energia elétrica em energia mecânica, usando o princípio da indução magnética. Um gerador é uma máquina que converte energia mecânica em energia elétrica. O rotor, ao contrário do motor com escovas, contém no estator ímãs permanentes. O estator do motor é constituído por eletroímãs. Um conjunto de díodos recebe tensão alternada do rotor da excitatriz principal, sendo a tensão induzida pelo estator da excitatriz principal, sendo este alimentado corrente contínua, originária de um regulador de tensão, como representado na Figura 19.

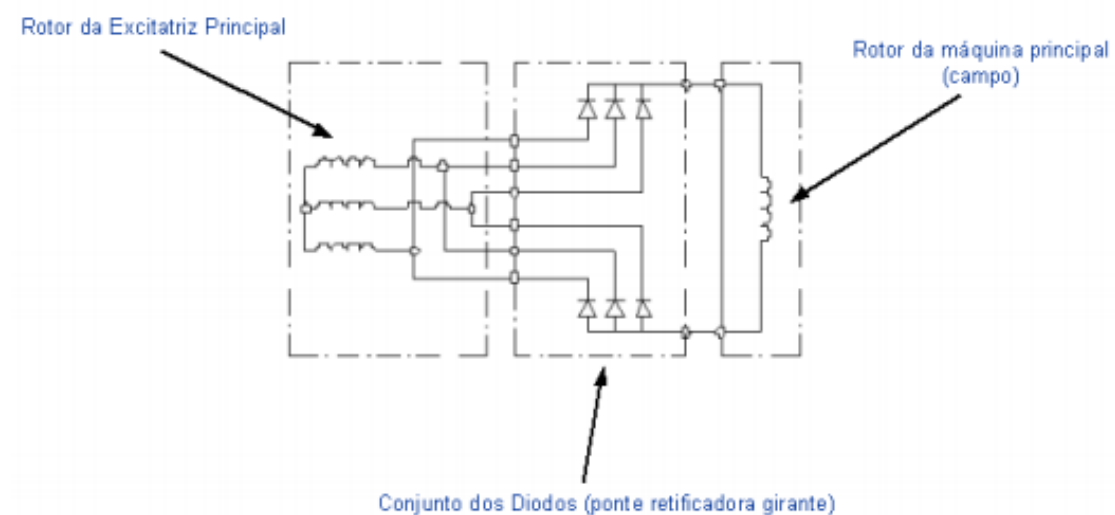


Figura 19 - Esquema dos componentes motor de corrente contínua [WEG]

O regulador de tensão tem a função de controlar a tensão de saída, atuando no estator da excitatriz [WEG].

De forma simplista, um motor de corrente contínua roda porque existe interação entre dois campos magnéticos. O rotor atua como eletroímã quando a corrente percorre as bobinas, e quando o rotor está localizado entre dois campos magnéticos, estes interagem, e como se repelam e se atraem, provoca a rotação. Um gerador de corrente contínua utiliza o mesmo princípio, e partilham os mesmos componentes, armadura, estator, rotor e ímãs. No entanto, pode ser necessário recorrer a uma fonte externa para promover a excitação dos polos, a menos que sejam autoexcitados.



Figura 21 - Imagem ilustradora da aplicação dos dois geradores

A energia gerada pelo sistema terá de ser analisada posteriormente numa fase de testes, pois como é injetada na rede, mesmo que seja consumida pelo ginásio, terá de se garantir que energia gerada por este sistema cumpre a legislação da qualidade da energia, garantindo que o THD (*Total Harmonic Distortion*) da tensão no ponto de entrega é inferior a 8% [Conceição10]. O THD corresponde às harmónicas presentes na onda de tensão ou de corrente, caracterizando um sinal deformado.

3. Metodologias e discussão de resultados

3.1. Aplicação

3.1.1. Visita à Miralago

No dia 29-03-2018, desloquei-me às instalações da Miralago, com o intuito de conhecer a tecnologia utilizada no fabrico de bicicletas elétricas. A Miralago é produtora de peças de bicicletas, que contempla na sua vasta gama, uma bicicleta elétrica utilizada em Portugal. A Orbita equipa as suas bicicletas com motores 36 V 250 W DC *Brushless hub motor* (motor de cubo de roda). Esta visita foi bastante produtiva uma vez que tive conhecimento de um aspeto conceptual importante, no que diz respeito ao motor utilizado. O tipo de motor em causa foi adaptado perfeitamente a uma máquina de ginásio. A Miralago contribuiu para este estudo cedendo um desses motores.

3.1.2. Visita a uma cadeia de ginásios em Oeiras

No dia 15-04-2018 fui ao ginásio local, e com a devida autorização efetuei várias medições. Juntamente com um utilizador habitual foi efetuado algumas series de exercícios. Foram utilizadas duas máquinas diferentes, apresentadas nas Figuras 22 e 23, cujo princípio é transversal, uma vez que os pesos selecionados para a carga são levantados por meio de um sistema de roldanas.



Figura 22 – Puxador vertical



Figura 23 – Flexor de perna

A máquina “Puxador vertical” (Figura 22) apresentada anteriormente tem como finalidade o utilizador puxar a barra para si, trabalhados os músculos de costas, trapézio e deltoide posterior. Com este movimento da barra, irá levantar os pesos seleccionados, como evidenciado na Figura 24.



Figura 24 - Movimento efetuado [MATRIXFITNESS18]

O movimento realizado na máquina pode também ser observado na Figura 25:



Figura 25 – Máquina Puxador vertical [MATRIXFITNESS18]

O movimento realizado pela ação humana é indicado na Figura 26:



Figura 26 - Sistema de roldanas em detalhe [MATRIXFITNESS18]

3.1.3. Medições realizadas

As visitas realizadas permitiram obter conhecimentos essenciais no que diz respeito ao motor utilizado, o que facilita a fase conceptual. Foram efetuadas medições, tanto ao nível do movimento da correia como a nível dimensional, foi possível concluir que este tipo de motor se adapta perfeitamente. Foi comparado as 3 polias acima representadas e o tipo de motor selecionado. Foi verificado que são compatíveis. O objetivo é substituir duas das polias presentes nas máquinas, que serviram apenas de suporte para a carga por dois destes motores (Figura 27 e Figura 28), para transformarem esse movimento de rotação em energia elétrica.



Figura 27 – Motor de cubo de roda fornecido pela Miralago [ElectricBike18]



Figura 28 - Desenho de cotas do motor selecionado [Aliexpress18]

A largura do cubo da roda é de 35,5 mm. Na visita ao ginásio, foi medido a largura da correia e a sua espessura. A largura da correia utilizada na máquina atual é de 25 mm, com 3 mm de espessura (Figura 29). Foi verificado então compatibilidade para a correia circular.

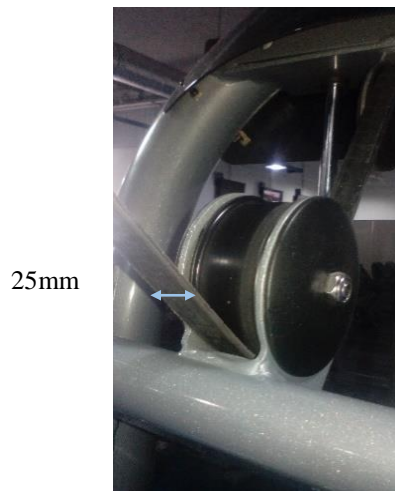


Figura 29 - Dimensões da correia

As medições recolhidas no ginásio foram efetuadas com recurso a um equipamento de medição, neste caso um tacómetro, que lê o deslocamento da correia. A medição tem de se realizar o mais perpendicular e estável possível, relativamente à correia.

O tacómetro, modelo Testo 470 (Figura 31), tem a possibilidade de medir a rotações por minuto (rpm) ou m/s. Foi verificado que o parâmetro mais conveniente para o estudo são as rotações por minuto, e para se encontrar um meio de validação da medição, foi efetuado uma medição em m/s, que confirma que o equipamento está funcional. Através de uma fita métrica, foi verificado que os resultados apresentados no visor são coincidentes com o deslocamento.

Como a velocidade de rotação é variável em função do diâmetro, devido à relação de transmissão (1), foi necessário recorrer à Tabela 2, em que é possível comparar os três casos, nomeadamente, a velocidade de rotação do equipamento de medição, a velocidade de rotação da polia existente na máquina de ginásio e por fim a velocidade de rotação do gerador selecionado.

$$i = \frac{n_1}{n_2} \times \frac{d_2}{d_1} \quad (1)$$

Em que:

d – Diâmetro da polia [m]

n – Velocidade de rotação [rpm]

A Figura 30 ilustra a relação de transmissão entre a polia do equipamento de medição e a polia existente na máquina de ginásio.

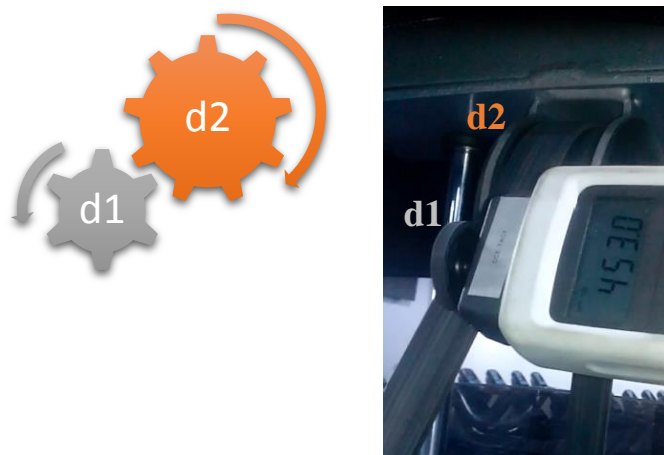


Figura 30 - Polia do equipamento de medição e da máquina de ginásio

Verifica-se que a velocidade linear é transversal nos três casos, uma vez que se mantém constante independentemente do diâmetro da polia. Através da medição da velocidade de rotação do equipamento, foi possível através da relação de diâmetros calcular também a velocidade de rotação da polia existente na máquina de ginásio. Sabendo o diâmetro interior do gerador selecionado, será calculado no próximo capítulo qual a potência gerada pela utilização desta máquina. A Tabela 2 apresenta um exemplo de uma leitura realizada no equipamento de medição, e quais os resultados obtidos na polia existente (d2) assim como no gerador selecionado (d3), pois este terá um diâmetro diferente dos restantes.

Tabela 2 - Exemplo de conversão das relações de transmissão

Equipamento de medição			Polia do Puxador Vertical			Gerador selecionado		
p1	0,100	m	p2	0,029	m	p3	0,035	m
d1	0,032	m	d2	0,090	m	d3	0,111	m
n1	453	rpm	n2	160,2	rpm	n3	85,8	rpm
ω 1	47,4	rad/s	ω 2	16,8	rad/s	ω 3	9,0	rad/s
v1	0,76	m/s	v2	0,76	m/s	v3	0,76	m/s

Em que:

p – Perímetro da circunferência da polia [m]

d = Diâmetro da polia [m]

n – Velocidade de rotação [rpm]

ω – Velocidade angular [rad/s]

v – Velocidade linear [m/s]

O equipamento de medição (Figura 31) não tem um registo de dados, apresentado o valor no visor com uma taxa de atualização de segundo a segundo. Esta situação tornou o tratamento de dados menos célere do que se esperava. Com recurso a uma gravação de vídeo, foram registadas as medições efetuadas e posteriormente foi elaborado uma folha de cálculo que permitiu condensar os dados, como visível no Anexo A.

A taxa de atualização não é ideal, pois como este perfil de velocidades é bastante variável, foram perdidos alguns valores que poderiam modelar a curva num sentido mais aproximado, no entanto e com recursos disponíveis, será o suficiente para elaborar as curvas de funcionamento.



Figura 31 - Equipamento de medição



Figura 32 - Medição em Puxador vertical



Figura 33 - Medição em Flexor de perna

Juntamente com um utilizador foram realizadas três séries de exercícios na máquina puxador vertical (Figura 32), com pesos diferentes, 25, 39 e 52 kg, e uma série na máquina flexor de perna (Figura 33) com 25 kg. A primeira série de exercícios do puxador vertical teve 15, 15 e 8 repetições, respetivamente. Já para o flexor de perna foram realizadas 17 repetições.

Uma repetição é entendida pelo levantamento e descida do peso. As medições nas máquinas de ginásio já referidas, encontram-se na Tabela 3:

Tabela 3 - Exercícios realizados nas máquinas de ginásio

Máquina Puxador vertical	Máquina Flexor de pernas
1º Série - 15 Repetições (25kg)	1º Série - 17 Repetições (25kg)
2º Série - 15 Repetições (39kg)	-
3º Série - 8 Repetições (52kg)	-

Para o puxador vertical, os cálculos da 1ª série (25 kg) podem ser encontrados no Anexo B. Para a série de 39 kg, encontram-se no Anexo C. Por fim, no caso do puxador vertical (52 kg), os cálculos encontram-se no Anexo D. Já relativamente à série de exercícios realizada no flexor de perna, os cálculos realizados encontram-se disponíveis para consulta no anexo E.

3.2. Dimensionamento

Com base nas medições realizadas e apresentadas no Anexo A, foi possível prever a potência gerada, considerando que seria colocado o gerador selecionado no lugar da polia. O Anexo A fornece dados que permitiram obter a velocidade de rotação em rotações por minuto, tanto da polia do equipamento de medição como do gerador selecionado, em que os valores positivos de rotações por minuto consistem na elevação do peso e os valores negativos na descida do peso. Estas rotações por minuto foram posteriormente convertidas para velocidade angular (2) através da expressão:

$$\omega = n \times \frac{2\pi}{60} \quad (2)$$

Em que:

ω = Velocidade de rotação [rad/s]

n = rotações por minuto

A Figura 34 evidencia as medições realizadas no ginásio, em rotações por minuto, por série de exercícios e por máquina.

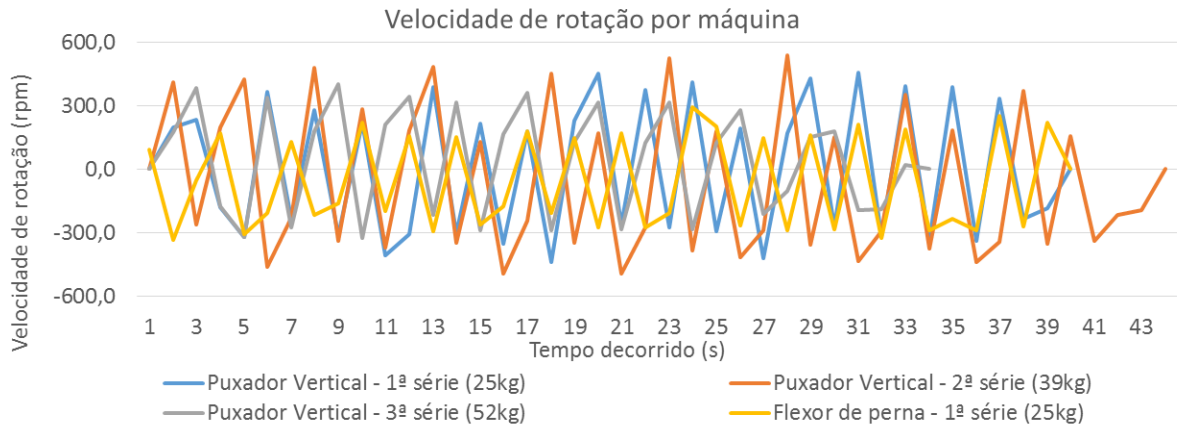


Figura 34 - Rotações por minuto por máquina (medida com o tacómetro)

Através do diâmetro do gerador de valor 0,168 m, foi possível encontrar a velocidade linear (3) em m/s, como ilustrado na Figura 35.

$$v = \omega \times \frac{d}{2} \quad (3)$$

v = velocidade linear [m/s]

d = Diâmetro da polia [m]

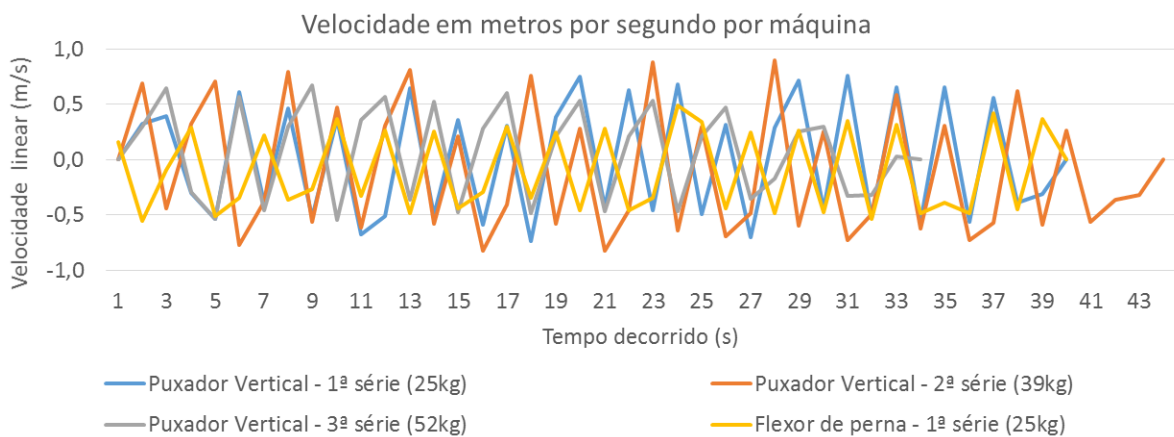


Figura 35 - Velocidade linear em metros por segundo

Para posterior cálculo da força exercida pelo utilizador, será necessário calcular a aceleração média (4), através da diferença entre a velocidade inicial e final a dividir pelo tempo decorrido. Como a taxa de atualização do tacómetro é segundo a segundo, o Δt será sempre 1 segundo na próxima expressão.

$$\bar{a} = \frac{dv}{dt} = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \quad (4)$$

Em que:

\bar{a} = Aceleração média [m/s²]

v_f = Velocidade final [m/s]

v_i = Velocidade inicial [m/s]

t_f = Tempo final [s]

t_i = Tempo inicial [s]

Na Figura 36 é possível analisar a aceleração média por série e por máquina.

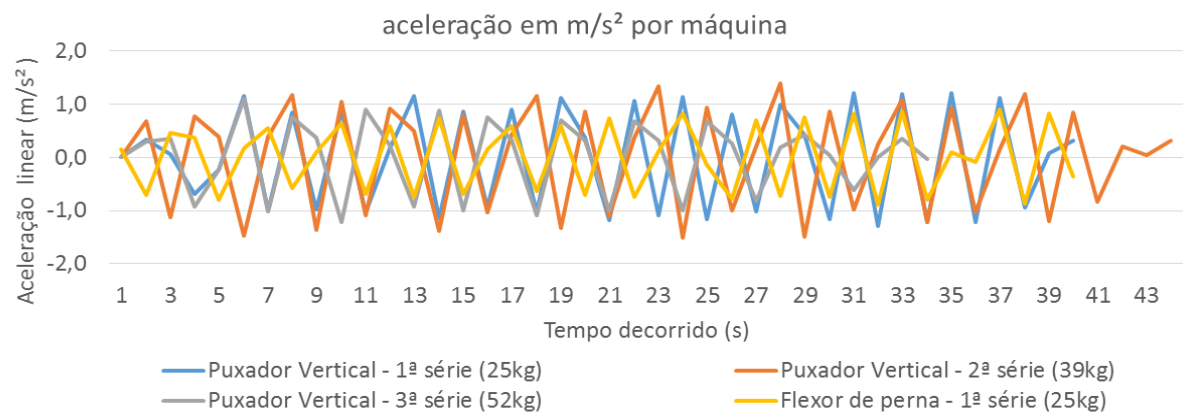


Figura 36 - Aceleração imposta pelo utilizador ao sistema

O sistema de roldanas será de seguida analisado e o seu objetivo será obter a massa (5) da força aplicada pelo utilizador. Esta variável irá revelar-se importante para o cálculo da potência.

$$\begin{aligned}
 F &= T - P = T - m \cdot g = m \cdot a \\
 \Leftrightarrow T &= m \cdot a + m \cdot g \\
 m^* &= \frac{T}{a + g} \quad (5)
 \end{aligned}$$

Em que:

T – Tensão imposta à correia [N]

P – Peso [N]

F – Força [N]

m – Massa do peso [kg]

m^* – Massa instantânea [kg]

a – Aceleração imposta pelo utilizador [m/s²]

g – Aceleração da gravidade [m/s²]

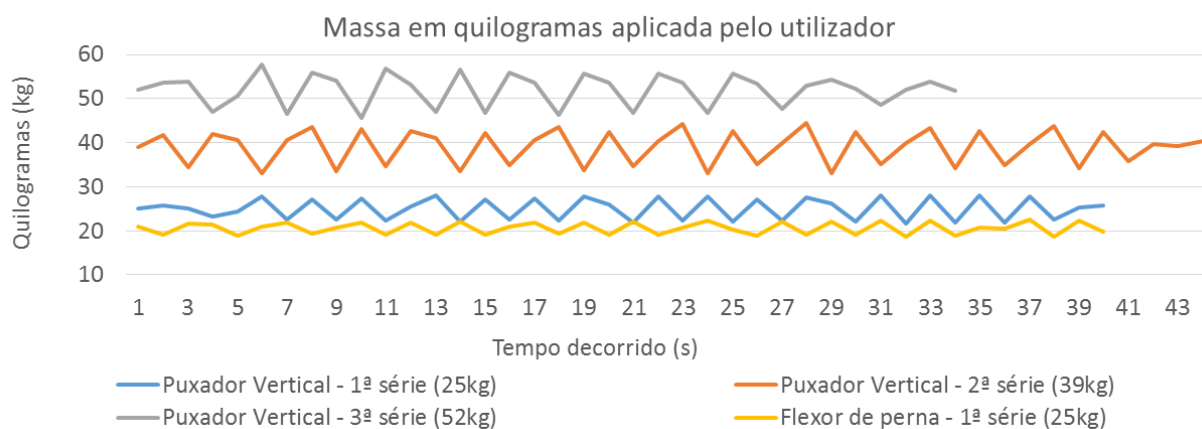


Figura 37 - massa em quilogramas aplicada pelo utilizador

A massa m^* determina qual a massa instantânea, sendo a diferença em quilogramas da massa m e a massa que corresponde à força exercida pelo utilizador. Se o sistema se encontrar em repouso, corresponde ao valor do peso a dividir pela aceleração da gravidade, ou seja, a massa m . Caso o utilizador levante a massa m , obtém-se o valor em kg correspondente à força que aplicou, superior à massa m , condição fundamental para que exista movimento. No caso em que a massa m se encontra na fase descendente, os kg que o utilizador está a exercer na força aplicada são inferiores à massa m , condição também fundamental para que o objeto se mova no sentido descendente. A Figura 37 apresenta os resultados da massa instantânea por serie de exercícios, ao longo do tempo.

A Figura 38 apresenta um diagrama de corpo livre do sistema.

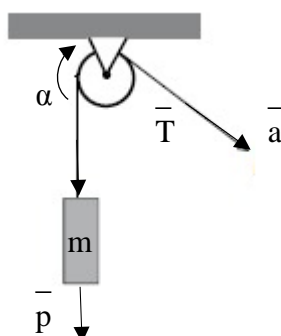


Figura 38 - Diagrama de corpo livre – Roldana

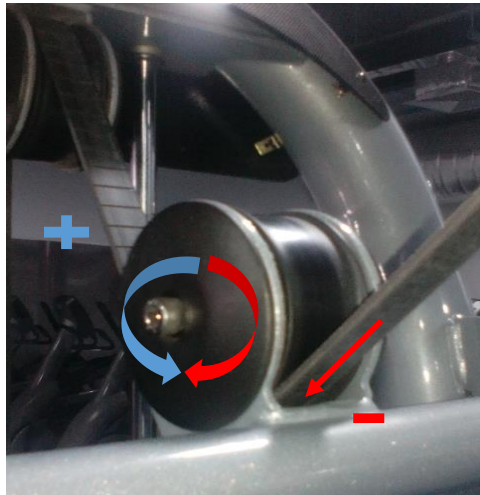


Figura 39 - Polia do equipamento e atribuição dos sentidos de rotação

Quando o peso se encontra na situação ascendente, foi considerado que o momento é positivo e no sentido descendente o momento é negativo (Figura 39).

A força exercida no puxador multiplicada pelo raio da polia irá provocar um momento M , produzido pelas componentes da equação (6).

$$M = F \cdot r \quad (6)$$

Em que:

M – Binário aplicado [J]

r – Raio da polia [m]

A Figura 40 evidencia o momento aplicado na polia, por serie de exercícios, ao longo do tempo.

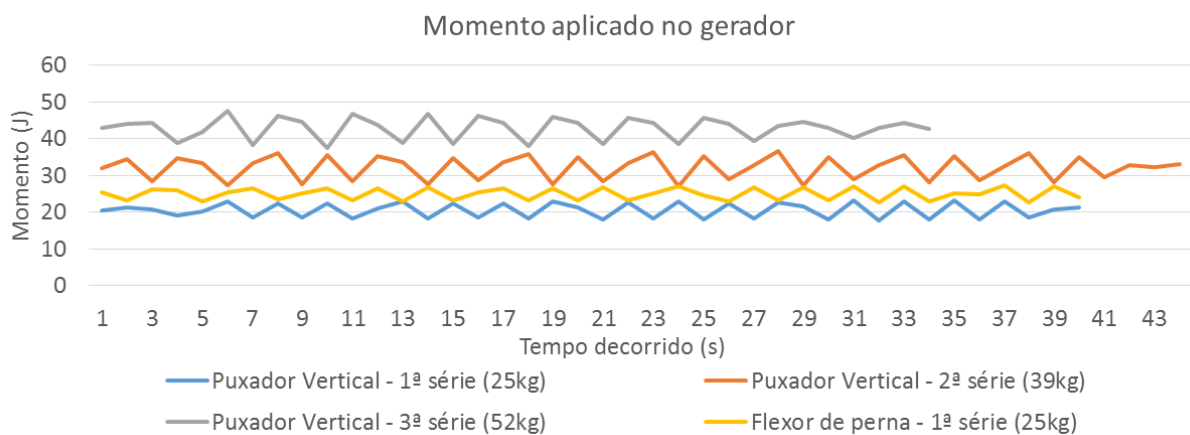


Figura 40 - Momento aplicado no gerador pelo utilizador

Para o cálculo da potência mecânica instantânea, foi utilizado a seguinte expressão (7):

$$P = M \cdot \omega \quad (7)$$

Em que:

P – Potência mecânica [W]

A Figura 41 apresenta a potência mecânica produzida, por série de exercícios, ao longo do tempo.

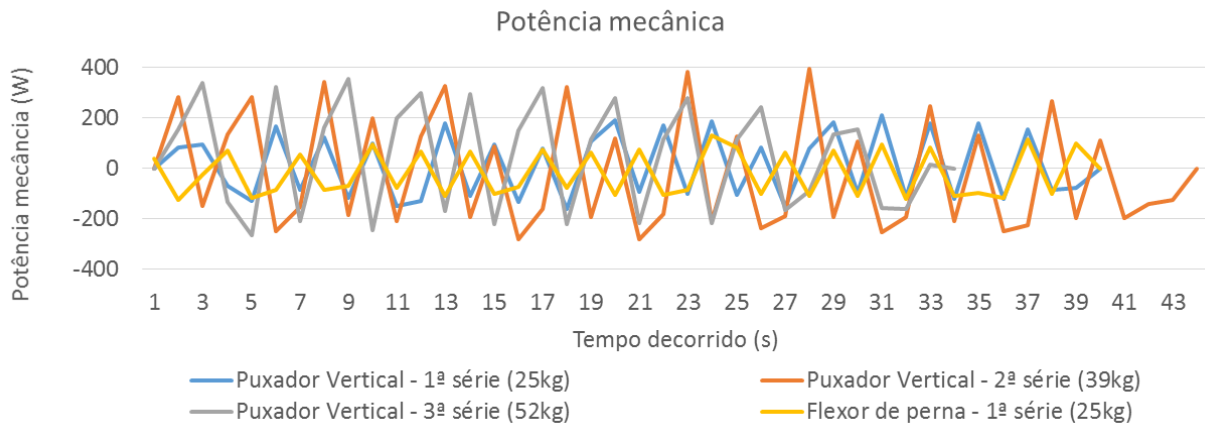


Figura 41 - Potência mecânica gerada pela ação do utilizador

A potência mecânica gerada apresenta valores positivos e negativos, em função a aceleração imposta, consoante a fase ascendente ou descendente. A potência mecânica será convertida para potência elétrica em corrente alternada, como evidenciado na expressão (8).

$$P_{ele} = \frac{P}{\eta_{Gerador} \times \eta_{Inversor}} \quad (8)$$

Em que:

P_{ele} – Potência elétrica gerada, convertida para corrente alternada [W]

$\eta_{inversor}$ - Rendimento do inversor (Equipamento selecionado ~ 85 %) [%]

$\eta_{gerador}$ – Rendimento do gerador (Equipamento selecionado ~ 80 %) [%]

De seguida, na Figura 42, é apresentada a potência elétrica gerada por máquina, já incluindo os rendimentos do gerador e do inversor.

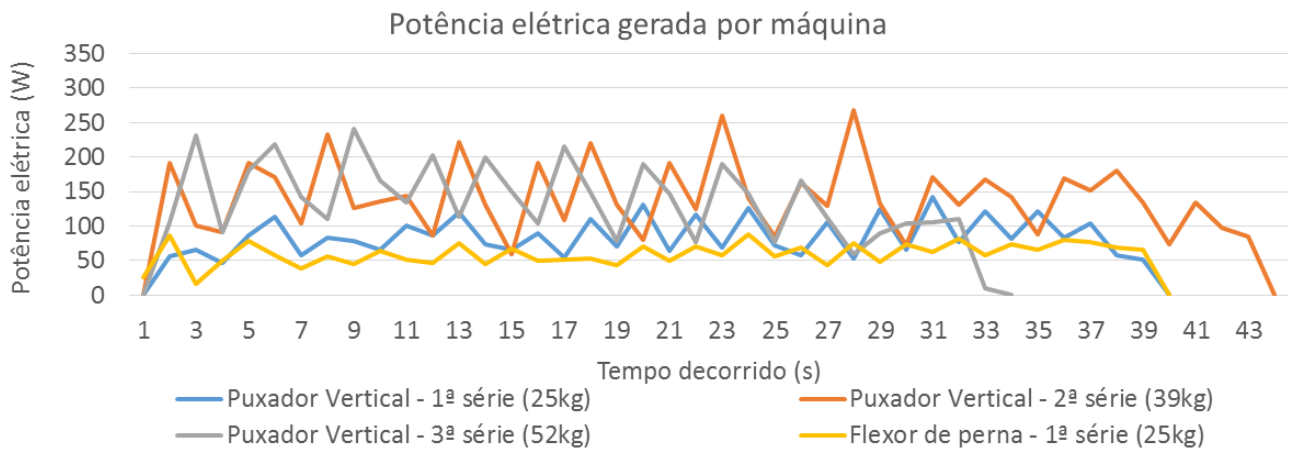


Figura 42 - Potência elétrica gerada por máquina

A potência elétrica gerada foi inferior à capacidade máxima dos geradores, e o fato de se aumentar o peso levantado não traduz necessariamente em mais potência, pois o utilizador também terá mais dificuldade em movimentar o peso, diminuindo a sua velocidade de rotação. Verifica-se através do gráfico, que a máquina flexor de perna terá um menor potencial de produção visto que trabalha um conjunto de músculos com menor força, tendo também efeitos negativos na velocidade de rotação, comparando com a máquina puxador vertical.

3.3. Viabilidade

3.3.1. Custo da energia elétrica

Para o cálculo da viabilidade, um dos pressupostos fundamentais para os cálculos económicos é precisamente o custo do €/kWh utilizado. É de salientar que o período de produção desta energia será durante o período de funcionamento do ginásio. O custo do €/kWh médio do ginásio, em agosto de 2018, foi de 0,120 €/kWh, valores fornecidos pela entidade em causa, incluindo energia, redes, potência contratada e potência de horas de ponta.

A Tabela 4 identifica o preço médio estimado, se a utilização da energia fosse constante durante uma semana. A semana típica reflete todas as horas de uma semana completa, e as horas semana em que cada período vigora (ERSE 2017).

Tabela 4 - Distribuição do número de horas de uma semana típica

Semana típica

Período	Inverno			Verão		
	Horas/ semana	Horas/ ano	Custo da Energia Elétrica	Horas/ semana	Horas/ ano	Custo da Energia Elétrica
Ponta	25	1300	0,1674	15	780	0,1674
Cheias	67	3484	0,1084	77	4004	0,1084
Vazio Normal	48	2496	0,0962	48	2496	0,0962
Super Vazio	28	1456	0,0826	28	1456	0,0826
Total	168	8736	0,109	168	8736	0,106

Se a instalação em causa tivesse um consumo de energia regular, o preço que iria obter seria de 0,108 €/kWh. Como está aberto ao público maioritariamente durante o dia a energia tem um preço mais elevado.

Já em relação ao período de funcionamento, é possível verificar qual o seria o preço da energia elétrica se apenas existisse consumo elétrico durante o período de funcionamento, de acordo com a quantidade de horas que o ginásio labora e a tarifa energética aplicada. A Tabela 5 resume essa informação:

Tabela 5 - Distribuição do número de horas do período de funcionamento

Período de funcionamento (período de produção do sistema)

Período	Inverno			Verão		
	Horas/ semana	Horas/ ano	Custo da Energia Elétrica [€/kWh]	Horas/ semana	Horas/ ano	Custo da Energia Elétrica [€/kWh]
Ponta	25,5	1326	0,1674	26,5	1378	0,1674
Cheias	65,5	3406	0,1084	64,5	3354	0,1084
Vazio Normal	10	520	0,0962	10	520	0,0962
Super Vazio	-	-	0,0826	-	-	0,0826
Total	101	5252	0,122	101	5252	0,123

É verificado que o período de produção do sistema será mais vantajoso no período de funcionamento do que na média da semana, uma vez que a energia produzida pelo sistema se encontra nos períodos mais caros. Comparando o preço médio apenas para o período de funcionamento com o preço médio revelado pelo ginásio existe uma diferença de apenas 2%. Foi considerado um aumento de 2% aplicados aos 0,120 €/kWh. O valor considerado para efeitos de cálculo é de **0,122 €/kWh**.

3.3.2. Cálculo do número de horas de funcionamento do sistema

De acordo com as medições realizadas, foi possível estipular o tempo médio de utilização por série de exercícios, visto que o utilizador adapta o peso levantado e o número de repetições ao seu treino. O tempo médio por série de exercícios foi de 39 segundos e posteriormente foi calculado o tempo útil por hora, estipulando 25 utilizações por hora (9):

$$\text{Tempo útil por hora} = \frac{\text{Tempo médio por série (s)}}{3600 (s)} \times \text{N}^{\circ} \text{ utilizações por hora} \quad (9)$$

$$\text{Tempo útil por hora} = \frac{39 (s)}{3600 (s)} \times 25 = 0,27$$

Em que:

Tempo útil por hora – Tempo de utilização efetiva da máquina por hora [%]

Tempo médio por série – Duração de uma serie de exercícios [s]

Nº utilizações por hora – Número de utilizações da máquina por hora [adimensional]

Resultando nas horas utilizadas por ano (10):

$$\text{Horas \u00fateis por ano} = \text{Tempo \u00fatil por hora} \times \text{N}^\circ \text{ horas/ano} \quad (10)$$

$$1413 \text{ horas} = 0,27 \times 5.252$$

Em que:

N^o horas/ano - O per\u00edodo de funcionamento do gin\u00e1sio \u00e9 de 5.252 [horas/ano]

Horas \u00fateis por ano – Utiliza\u00e7\u00e3o efetiva da m\u00e1quina por ano [h]

Atrav\u00e9s da percentagem de tempo \u00fatil por hora e das horas de funcionamento do gin\u00e1sio por ano, foi poss\u00edvel calcular as horas \u00fateis por ano, ou seja, o tempo de utiliza\u00e7\u00e3o efetiva da m\u00e1quina por ano. Este valor \u00e9 essencial para calcular a energia recuperada pelo sistema por ano.

3.3.3. C\u00e1lculo da energia produzida

De seguida, ser\u00e1 apresentada a Tabela 6, que tem a finalidade de resumir a pot\u00eancia produzida por utiliza\u00e7\u00e3o. Note-se que, nos ensaios realizados, foi poss\u00edvel concluir que a m\u00e1quina 6 flexor de pernas, onde foi realizada uma s\u00e9rie de 17 repeti\u00e7\u00f5es (25 kg), tem um potencial inferior de produ\u00e7\u00e3o, devido \u00e0 acelera\u00e7\u00e3o ser inferior, uma vez que se est\u00e3o a trabalhar m\u00fasculos de menor capacidade e tamb\u00e9m devido tamb\u00e9m \u00e0s caracter\u00edsticas da pr\u00f3pria m\u00e1quina. Comparando essa s\u00e9rie de exerc\u00edcios com a m\u00e1quina 1, tamb\u00e9m para 25 kg, verifica-se que a m\u00e1quina 6 tem uma pot\u00eancia m\u00e9dia e m\u00e1xima inferior. Neste sentido, as m\u00e1quinas consideradas foram apenas os puxadores verticais e posteriormente os c\u00e1lculos da verifica\u00e7\u00e3o da viabilidade ir\u00e3o incidir apenas sobre o puxador vertical.

Tabela 6 - Resumo da energia produzida do sistema

	1 M\u00e1quina		2 M\u00e1quinas	
	P m\u00e9dia [W]	P m\u00e1xima [W]	P m\u00e9dia [W]	P m\u00e1xima [W]
M\u00e1quina 1 (Puxador Vertical) - 25 kg	81	143	163	285
M\u00e1quina 1 (Puxador Vertical) - 39 kg	136	267	273	534
M\u00e1quina 1 (Puxador Vertical) - 52kg	130	241	260	483
M\u00e9dia utiliza\u00e7\u00e3o (Puxador Vertical)	116	217	232	434
M\u00e1quina 6 (Flexor de perna) - 25kg	58	88	117	175

Ou seja, os 239 W gerados dizem respeito \u00e0 m\u00e9dia de utiliza\u00e7\u00e3o da m\u00e1quina 1, considerando pesos diferentes que possam ser selecionados (25 kg, 39 kg ou 52 kg).

3.3.4. Orçamento e viabilidade alcançada

Para a viabilidade, foi considerada a instalação em duas máquinas do mesmo tipo e com a mesma utilização. Assim, são otimizados os custos relativamente às quantidades adquiridas, minimizando os custos de envio e obtendo também um inversor de melhor qualidade. Para efeitos de orçamento, será apresentada a Tabela 7, com os equipamentos considerados para que este sistema possa ser instalado numa máquina ou em duas máquinas, de forma a analisar qual a solução mais vantajosa.

Tabela 7 - Orçamento considerado para a instalação do sistema

	1 Máquina	2 Máquinas
	2 Motores	4 Motores
Nº máquinas equipadas com este sistema	1	2
Bafang Wheel Motor 48 V 350 W [Bafang18] ²	207,28 €	414,56 €
Inversor DC-AC, DC40 V~56V, 180 V - 240 V [Aliexpress18] ²	34,59 €	34,59 €
Cablagem e custos imponderáveis	10,00 €	20,00 €
Contador de energia (kWh) [Servelec18]	14,90 €	14,90 €
Total	267 €	484 €

No Anexo F, encontram-se as características técnicas do gerador selecionado Bafang. No Anexo G, é possível verificar quais os dados do Inversor selecionado. Já no Anexo H, encontra-se os dados sobre o Contador de energia kWh.

Através dos valores de investimento obtidos, quer para uma máquina quer para duas máquinas, será analisada qual a melhor opção considerando também a potência média, recorrendo à Tabela 8.

Tabela 8 - Razão Potência/Investimento

	1 Máquina ³	2 Máquinas
W	116	232
€	267	484
W/€	0,43	0,48

A razão entre a potência e custo de investimento é mais vantajosa se for instalado em duas máquinas, uma vez que se obtém mais Watt por cada euro investido. Com base nessa

² Excluídas taxas alfandegárias

³ No caso do investimento para apenas uma máquina, optou-se por manter o mesmo inversor e o contador de energia em kWh.

condição, foi elaborado a Tabela 9, de viabilidade do sistema incluindo o período de retorno expectável para as condições acima descritas.

Tabela 9 - Quadro de viabilidade

	kWh/ano	€/ano	kgCO ₂ /ano
Economia	328	40 €	47
Investimento (€)	484		
Período de retorno do investimento	12,1 anos		

O conjunto das duas máquinas, tem a capacidade de recuperar 328 kWh de energia elétrica, com um valor de aproximadamente 40 euros e evitando a emissão de cerca de 47 kgCO₂⁽⁴⁾. Não foram considerados custos de instalação e eventuais custos de manutenção, sendo o período de retorno expectável para este sistema é cerca de 12 anos.

Os pressupostos considerados na metodologia são descritos na Tabela 9:

Tabela 10 - Lista de pressupostos

Designação	Origem	Valor
Raio da polia do gerador	Medição	0,084 m
Massa do peso a levantar	Selecionado na máquina	1º Medição: 25kg 2º Medição: 39 kg 3º Medição: 52kg
Tempo decorrido por exercício	Média das séries de exercícios	39 s
Utilizações das máquinas por hora	Previsão	25 utilizações por hora
Horas por ano em que o ginásio labora	Instalação	5.252 horas
Tempo útil por hora	Cálculo	27 %
Tempo útil por ano	Cálculo	1.413 horas por ano
Rendimento do gerador/motor	Ficha técnica	80 %
Rendimento do inversor	Ficha técnica	85 %
Preço médio do kWh elétrico	Instalação	0,120 €/kWh
Preço do kWh elétrico no período de geração de energia do sistema	Instalação	0,122 €/kWh

⁴ Fator de conversão para a Eletricidade = 0,144 [kgCO₂/kWh] segundo o Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013

3.4. Registo legal do sistema de produção de energia elétrica

Este sistema tem uma potência instalada total de 700 W e para esta instalação estar de acordo com a legislação, será necessário cumprir a Portaria n.º 14/2015 de 23 de janeiro, do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Este documento define um conjunto de regras essenciais para os produtores de energia renovável, em que se a potência instalada for igual ou inferior a 1,5 kW e superior a 200 W, ou se não estiver ligada à RESP, enquadra-se numa unidade de produção para autoconsumo (UPAC), e será necessário apresentar uma apenas comunicação prévia, sendo que não será necessária nenhuma validação da DGEG. Como não será necessário registo no Sistema Eletrónico de Registo de Unidades de Produção (SERUP), esta inscrição está isenta de taxas e autorizações para o seu funcionamento.

4. Conclusão

A dependência de energia é cada vez maior seja ela nos transportes, na indústria, na agricultura, na energia térmica ou na iluminação, influenciando a vida do dia-a-dia dos cidadãos e das empresas. Apesar dos fabricantes e os consumidores estarem a tornar-se mais eficientes e exigentes ainda é um longo percurso a fazer.

Esta dissertação culmina na observação no potencial de produção diária de energia humana num ginásio da área de residência. Após observação desta situação foi estabelecido pesquisar sobre o número de utilizadores em Portugal e foram identificadas cerca de 530.000 pessoas [AGAP16]. Foi verificado o evidente potencial e que seria interessante para a sua exploração. Analisando simplificadamente a cadeia de valor da energia no ser humano, os utilizadores dos ginásios ingerem alimentos (energia) diariamente e para se manterem em forma vão dissipar para um ginásio essa energia pela atividade física.

Os objetivos desta dissertação foram avaliar a exequibilidade da implementação de um sistema que aproveitasse a energia dissipada numa máquina de ginásio, optando por um sistema menos desenvolvido, comparando com as já conhecidas e comercializadas bicicletas ou passadeiras geradoras de energia. A grande vantagem deste estudo é a sua aplicação a todos os tipos de máquina, quer para exercitar braços, pernas ou costas, porque as polias onde se movem as roldanas são transversais a máquinas em que se levante peso.

O período de retorno do investimento calculado foi com base em vários pressupostos já evidenciados, e que pretendem apurar qual a produção anual de energia elétrica e qual a economia em euros que irá gerar.

Uma desvantagem encontrada ao longo do percurso foi verificada com a necessidade de incorporar dois motores por máquina, um para gerar energia em cada sentido, como descrito no capítulo 2.2. Tecnologia utilizada. Este fator forçou a que tivesse de ser adquirido mais um motor por máquina. Num estudo posterior, foi sugerido a procura ou forma de adaptação, para que um gerador/motor tenha a capacidade de gerar energia elétrica em ambos os sentidos de rotação. Sabendo que os preços dos equipamentos ainda são consideráveis para o retorno obtido, um dos caminhos a percorrer seria aliar este investimento à promoção do espaço, de forma a obter uma publicidade diferenciadora da concorrência, cativando assim mais clientes que se interessariam pelo conceito associado. Seria também possível atribuir um bónus aos utilizadores que mais kWh produzissem pela sua utilização. A Figura 43 pretende apresentar um balanço final dos objetivos alcançados.

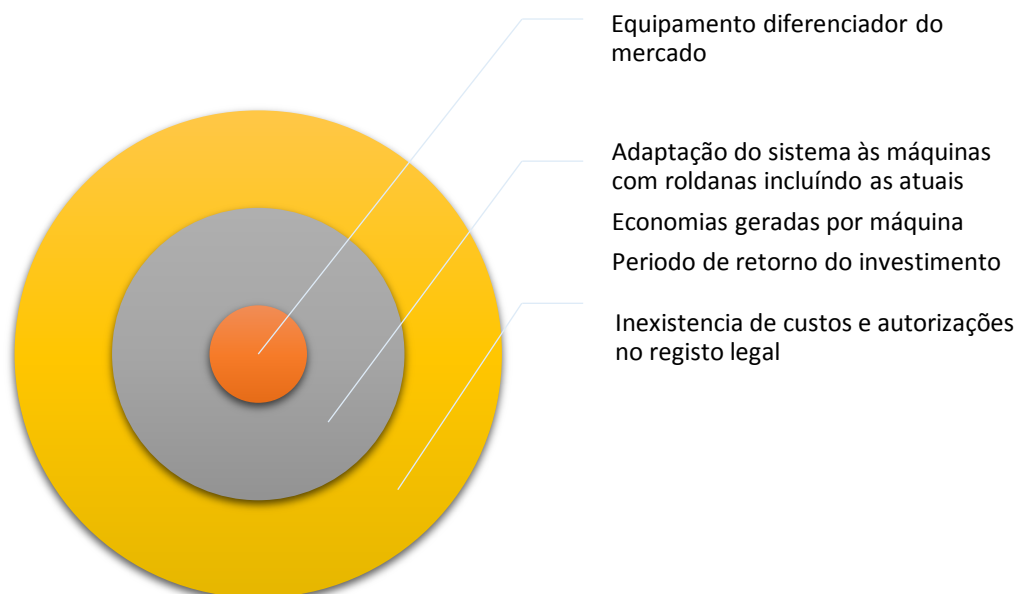


Figura 43 – Balanço final

Em suma, os objetivos que foram apresentados na introdução foram cumpridos, à exceção da representatividade no autoconsumo da instalação:

- Estabelecer um conjunto de pressupostos justificável (Períodos de utilização, pausas, velocidade, curso, entre outros);
- Estudo de hipóteses para incorporar no sistema;
- Estimar os custos de instalação e os benefícios;
- Prever o período de retorno do investimento;
- Qual o peso do autoconsumo na instalação?

Este último ponto não foi considerado uma vez que o intuito inicial era prever um sistema de maiores dimensões, alimentando dez ou quinze máquinas. Posteriormente, foi verificado que seria mais realista analisar um sistema com maior detalhe e com maior rigor nas horas de utilização por ano. Uma vez que, se apenas existirem duas máquinas terão uma utilização muito mais elevada do que se existirem mais máquinas. O que é de difícil previsão uma utilização realista para esse cenário.

A Figura 44 pretende elucidar sobre quais os pontos-chave do trabalho realizado.

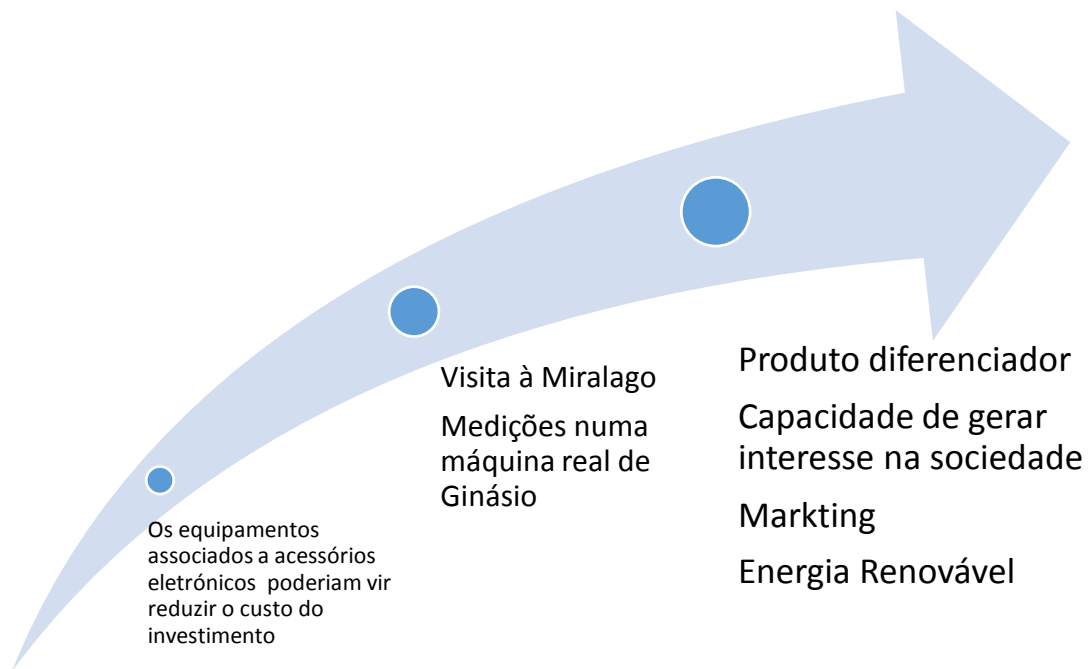


Figura 44 – Pontos-chave do trabalho.

Para trabalhos futuros é sugerido a investigação de geradores de cuba, que permitam a recuperação de energia cinética em ambos os sentidos, visto que terá benefícios no período de retorno do investimento.

Referências

- [AGAP16] AGAP, "Resultados Ano 2016 (Sumário Executivo).", Sintra, 2016.
- [Ajilian08] Amir Ajilian, K., "METHOD AND SYSTEM FOR GENERATING ELECTRICITY.", United States, Patente US 2008/0172328 A1. 17 de Julho de 2008.
- [Aliexpress18] Aliexpress. "Power inverter", 2018. [Online]. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/DC-48V-to-220V-1000W-car-power-inverter-modified-power-inverter-home-use-power-inverter/32618767297.html?spm=a2g0s.13010208.99999999.259.41f23c00VP86Z3> (acedido em 27 de Setembro de 2018).
- [Aliexpress18] Aliexpress, "Bafang 48 V 350 W FM G020.350.D", 2018. [Online]. Disponível em: https://pt.aliexpress.com/item/Bafang-36-v-48-250-w-350-500-brushless-motor-do-cubo-da-engrenagem-do-motor/32910197250.html?spm=a2g03.search0104.3.18.2a1d3975BAefTE&transAbTest=ae803_5&ws_ab_test=searchweb0_0%2Csearchweb201602_1_10065_10068_319_10059_10884_317_10887_10696_321_322_453_10084_454_10083_10103_10618_10304_10307_10820_10301_10821_537_536_10902%2Csearchweb201603_59%2CppcSwitch_0&algo_pvid=b9ba8769-1ad0-4f07-9900-be67d1defb8a&algo_expid=b9ba8769-1ad0-4f07-9900-be67d1defb8a-2 (acedido em 27 de Setembro de 2018).
- [APREN18] APREN, "Boletim 1º trimestre 2018.", Lisboa, 2018.
- [APREN18] APREN, "Anuário APREN 2018.", Lisboa, 2018.
- [Bafang18] Bafang, "FM G020.250/350.D", 2018. [Online]. Disponível em: <https://www.bafang-e.com/en/components/component/motor/fm-g020250350d.html> (acedido em 15 de Agosto de 2018).
- [Bhatia13] Bhatia, A. "Direct Current Generators." New York: Continuing Education and Development, Inc., 2013.

- [Conceição10] Conceição, M. R. M. da, "MODELOS DINÂMICOS DE SISTEMAS DE CONVERSÃO DE ENERGIA EÓLICA LIGADOS À REDE ELÉCTRICA". Universidade da Beira Interior. Fevereiro de 2010.
- [DGEG13] DGEG. "ENERGIA em Portugal.", 2013.
- [DGEG13] DIRECÇÃO-GERAL DE ENERGIA E GEOLOGIA-MINISTÉRIO DO AMBIENTE ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E ENERGIA. Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013. DIARIO DA REPUBLICA - 2.ª SERIE, Nº 234-3ºSupl, de 03.12.2013, Pág. 35088-(14), 2013.
- [ElectricalBaba18] Electrical Baba, "Brushless DC (BLDC) Motor", 2018.
[Online]. Disponível em: <https://electricalbaba.com/brushless-dc-bl-dc-motor/> (acedido em 28 de Dezembro de 2018).
- [ElectricBike18] Electric Bike Solutions GmbH, "Bafang 36v 250W", 2018.
[Online]. Disponível em: <https://www.ebike-solutions.com/en/shop/motors/motors-up-to-250w/bafang-swxh2-r-rear-wheel-motor-36v-250w.html> (acedido em 20 de 09 de 2018).
- [EnergyAcademy14] Energy Academy, "BP Statistical Review of World Energy.", Relatório estatístico, Heriot-Watt University, London: BP p.l.c., 2014.
- [ERSE18] ERSE. "Ciclo Semanal", 2017. [Online]. Disponível em: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/tarifaseprecos/periodoshorarios/Paginas/CicloSemanalTodosFornecPtCont.aspx> (acedido em 20 de 08 de 2018).
- [Fatsecret18] Fatsecret. "Actividade de musculação moderada.", 2018.
[Online]. Disponível em: [https://www.fatsecret.pt/fitness/muscula%C3%A7%C3%A3o-\(moderado\)](https://www.fatsecret.pt/fitness/muscula%C3%A7%C3%A3o-(moderado)) (acedido em 01 de 05 de 2018).
- [Francisco13] Francisco, A., "Motores Eléctricos (5ª Edição)." ETEP - Edições Técnicas e Profissionais, Novembro de 2013.
- [Gieras10] Gieras, Jacek F. "Permanent magnet motor technology: design and Applications Revised and Expanded.", 3ª. United States of America: CRC Press, 2010.

- [Harr09] Harr, H. Worthington,. "RENEWABLE ENERGY GENERATION SYSTEM.". United States of America, Patente US 2009/0315336 A1. 24 de Dezembro de 2009.
- [Hutchinson08] Hutchinson, J. E. e Becker P., "PEDAL GENERATOR.", United States of America, Patente US 7,402,915 B2. 22 de Julho de 2008.
- [IPMA18] IPMA. "Resumo Climatológico, Março de 2018 ." Lisboa, 2018.
- [K-Tor18] K-Tor, 2018. [Online]. Disponível em: <https://www.k-tor.com/hand-crank-generator/> (acedido em 18 de 09 de 2018).
- [Machado12] Machado, D., "Estimativa do gasto energético", Universidade de São de Paulo. 2012. [Online]. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/pedroluizsaldanha/c-alculo-de-kcal-em-atividade-fisica> (acedido em 1 de 05 de 2018).
- [MATRIXFITNESS18] MATRIXFITNESS, "Lat Pulldown". 2018. [Online]. Disponível em: <https://world.matrixfitness.com/en/strength/single-station/g3-s30-lat-pulldown> (acedido em 20 de Setembro de 2018).
- [McLaughlin07] McLaughlin B., Berger, J., "ENERGY GENERATION DEVICE ADAPTABLE TO A MEANS OF ROTATION". United States, Patente US 2007/0284881 A1. 13 de Dezembro de 2007.
- [n.º 16/2015] Diário da República. "n.º 16/2015, Série I de 2015-01-23." De ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO E ENERGIA, MINISTÉRIO DO AMBIENTE. Lisboa, 2015.
- [Nicolau16] Nicolau, N. M. V., "Excitação sem escovas de geradores síncronos: estudo de modelos e otimização do controlo." ,IST. Lisboa, 2016.
- [Olivier13] Olivier, Jos G.J., "Trends in global CO2 emissions: 2013 Report". The Hague: PBL Publishers, 2013.
- [PARENTE18] PARENTE, F. M. L., "PASSADEIRA/BICICLETA DE MANUTENÇÃO GERADORAS DE ENERGIA", Portugal, MODELO DE UTILIDADE NACIONAL Nº 10368. 23 de Outubro de 2008.

- [REN18] REN. "Dados Técnicos 1º Trimestre 2018 ." Lisboa, 2018.
- [Servelec18] Servelec. 2018. [Online]. Disponível em: <https://www.servelec.pt/produto/contador-de-energia-220v16a-com-lcd-perel-e305em6-g> (acedido em 15 de Agosto de 2018).
- [Sportsart18] Sportsart. 2018. [Online]. Disponível em: <https://www.gosportsart.com/product/g510-indoor-cycle/> (acedido em 18 de Setembro de 2018).
- [Sportsart18] Sportsart. 2018. [Online]. Disponível em: <https://www.gosportsart.com/product/g510-indoor-cycle/> (acedido em 25 de Setembro de 2018).
- [Sportsart18] Sportsart. 2018. [Online]. Disponível em: <https://www.gosportsart.com/verde/> (acedido em 18 de Setembro de 2018).
- [Sportsart18] Sportsart. 2018. [Online]. Disponível em: https://www.gosportsart.com/eco-powr-technology/#gf_3 (acedido em 20 de Setembro de 2018).
- [Sportsart18] Sportsart. 2018. [Online]. Disponível em: <https://www.gosportsart.com/eco-calculator/> (acedido em 18 de Setembro de 2018).
- [Tormo13] Tormo, K., "PORTABLE POWER GENERATOR.", United States of America, Patente US 8,362,628 B2. 29 de Janeiro de 2013.
- [Vasilovich09] Vasilovich, L. A. V. e Hilgner, R. K., "METHOD AND APPARATUS FOR CONVERTING HUMAN POWER TO ELECTRICAL POWER.", United States Patente US 7,504,737 B2. 17 de Março de 2009.
- [WEG] WEG - MÁQUINAS INDÚSTRIAS S.A., "Características e Especificações de Motores de Corrente Contínua e Conversores CA/CC." s.d.
- [WEG] WEG, "DT - 5 Características e Especificações de Geradores." Características e Especificações de Geradores. 2017.
- [Yang09] Yang, X., "METHOD AND STRUCTURE FOR KINETIC ENERGY BASED GENERATOR FOR", United States of America, Patente US 7,608,933 B2. 27 de Outubro de 2009.

[YANG10]

YANG, F., "MANPOWER POWER GENERATOR", United Statesm Patente US 2010/0102571 A1. 29 de Abril de 2010.

Anexos

Anexo A – Medições realizadas nas máquinas de ginásio

Tabela 11 - Dados obtidos nas medições realizadas nas máquinas de ginásio

Puxador Vertical									Flexor de perna		
1ª Série (25kg)			2ª Série (39kg)			3ª Série (52kg)			1ª Série (25kg)		
t (s)	n1 (Rpm)	n3 (Rpm)	t (s)	n1 (Rpm)	n3 (Rpm)	t (s)	n1 (Rpm)	n3 (Rpm)	t (s)	n1 (Rpm)	n3 (Rpm)
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	196	37	1	413	78	1	176	33	1	93	18
2	233	44	2	-264	-50	2	385	73	2	-333	-63
3	-180	-34	3	196	37	3	-175	-33	3	-55	-10
4	-321	-61	4	426	81	4	-320	-61	4	171	32
5	366	69	5	-462	-88	5	340	64	5	-309	-59
6	-233	-44	6	-229	-43	6	-275	-52	6	-206	-39
7	277	52	7	478	91	7	178	34	7	130	25
8	-313	-59	8	-338	-64	8	402	76	8	-216	-41
9	219	41	9	284	54	9	-328	-62	9	-163	-31
10	-407	-77	10	-371	-70	10	213	40	10	218	41
11	-306	-58	11	183	35	11	342	65	11	-198	-38
12	387	73	12	485	92	12	-217	-41	12	157	30
13	-301	-57	13	-350	-66	13	316	60	13	-292	-55
14	217	41	14	127	24	14	-288	-55	14	150	28
15	-355	-67	15	-495	-94	15	166	31	15	-263	-50
16	181	34	16	-242	-46	16	361	68	16	-177	-34
17	-441	-84	17	453	86	17	-290	-55	17	177	34
18	230	44	18	-348	-66	18	127	24	18	-206	-39
19	452	86	19	169	32	19	317	60	19	146	28
20	-260	-49	20	-496	-94	20	-283	-54	20	-276	-52
21	377	71	21	-276	-52	21	124	23	21	169	32
22	-278	-53	22	527	100	22	317	60	22	-275	-52
23	409	77	23	-384	-73	23	-283	-54	23	-207	-39
24	-295	-56	24	179	34	24	124	23	24	291	55
25	191	36	25	-416	-79	25	280	53	25	203	38

26	-422	-80	26	-291	-55	26	-211	-40	26	-267	-51
27	171	32	27	540	102	27	-102	-19	27	148	28
28	429	81	28	-359	-68	28	150	28	28	-290	-55
29	-271	-51	29	153	29	29	179	34	29	159	30
30	457	87	30	-437	-83	30	-196	-37	30	-285	-54
31	-319	-60	31	-294	-56	31	-190	-36	31	210	40
32	391	74	32	350	66	32	18	3	32	-325	-62
33	-336	-64	33	-376	-71	33	0	0	33	190	36
34	390	74	34	185	35				34	-290	-55
35	-340	-64	35	-438	-83				35	-236	-45
36	336	64	36	-345	-65				36	-290	-55
37	-233	-44	37	370	70				37	253	48
38	-185	-35	38	-352	-67				38	-271	-51
39	0	0	39	157	30				39	221	42
			40	-340	-64				40	0	0
			41	-219	-41						
			42	-194	-37						
			43	0	0						

Anexo B – Cálculos realizados para a máquina puxador vertical – 1ª Série (25kg)

Puxador Vertical - 1ª série (25kg)															
Medição	Puxador	n1	n3	w	v	a	m*	M	Pmec	1			2		1+2
t (s)	Nº	Rpm	Rpm	Rad/s	m/s	m/s ²	kg	N.m	W	W	W	W	W	W	W
8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25	21	0	0	0	0	0	0	0
9	1	196,4	37,2	3,9	0,3	0,3	26	21	83	83	66	0	0	0	56
10	2	233,2	44,2	4,6	0,4	0,1	25	21	96	96	77	0	0	0	65
11	3	-180,2	-34,1	-3,6	-0,3	-0,7	23	19	-68	0	0	68	55	47	47
12	4	-321,2	-60,9	-6,4	-0,5	-0,2	24	20	-128	0	0	128	103	87	87
13	5	366,0	69,3	7,3	0,6	1,1	28	23	167	167	134	0	0	0	114
14	6	-233,0	-44,1	-4,6	-0,4	-1,0	22	19	-86	0	0	86	68	58	58
15	7	277,0	52,5	5,5	0,5	0,9	27	22	123	123	98	0	0	0	84
16	8	-312,6	-59,2	-6,2	-0,5	-1,0	22	19	-115	0	0	115	92	78	78
17	9	218,7	41,4	4,3	0,4	0,9	27	22	97	97	78	0	0	0	66
18	10	-407,3	-77,2	-8,1	-0,7	-1,0	22	18	-149	0	0	149	119	101	101
19	11	-305,9	-58,0	-6,1	-0,5	0,2	25	21	-127	0	0	127	102	86	86
20	12	387,3	73,4	7,7	0,6	1,2	28	23	177	177	142	0	0	0	120
21	13	-301,0	-57,0	-6,0	-0,5	-1,1	22	18	-109	0	0	109	87	74	74
22	14	217,0	41,1	4,3	0,4	0,9	27	22	97	97	77	0	0	0	66
23	15	-355,0	-67,3	-7,0	-0,6	-1,0	23	19	-131	0	0	131	105	89	89
24	16	181,0	34,3	3,6	0,3	0,9	27	22	81	81	65	0	0	0	55
25	17	-441,0	-83,6	-8,8	-0,7	-1,0	22	18	-161	0	0	161	129	110	110
26	18	230,0	43,6	4,6	0,4	1,1	28	23	105	105	84	0	0	0	71
27	19	452,0	85,6	9,0	0,8	0,4	26	21	192	192	153	0	0	0	130
28	20	-260,0	-49,3	-5,2	-0,4	-1,2	22	18	-93	0	0	93	75	64	64
29	21	377,0	71,4	7,5	0,6	1,1	28	23	171	171	137	0	0	0	116
30	22	-278,0	-52,7	-5,5	-0,5	-1,1	22	18	-101	0	0	101	81	69	69
31	23	409,0	77,5	8,1	0,7	1,1	28	23	187	187	149	0	0	0	127
32	24	-295,0	-55,9	-5,9	-0,5	-1,2	22	18	-106	0	0	106	85	72	72
33	25	191,0	36,2	3,8	0,3	0,8	27	22	85	85	68	0	0	0	57
34	26	-422,0	-80,0	-8,4	-0,7	-1,0	22	18	-155	0	0	155	124	105	105
35	27	171,0	32,4	3,4	0,3	1,0	28	23	77	77	62	0	0	0	52
36	28	429,0	81,3	8,5	0,7	0,4	26	22	183	183	146	0	0	0	124
37	29	-271,0	-51,3	-5,4	-0,5	-1,2	22	18	-98	0	0	98	78	66	66
38	30	457,0	86,6	9,1	0,8	1,2	28	23	210	210	168	0	0	0	143
39	31	-319,0	-60,4	-6,3	-0,5	-1,3	22	18	-113	0	0	113	91	77	77
40	32	391,0	74,1	7,8	0,7	1,2	28	23	179	179	143	0	0	0	122
41	33	-336,0	-63,7	-6,7	-0,6	-1,2	22	18	-120	0	0	120	96	82	82
42	34	390,0	73,9	7,7	0,7	1,2	28	23	179	179	143	0	0	0	122
43	35	-340,0	-64,4	-6,7	-0,6	-1,2	22	18	-122	0	0	122	97	83	83
44	36	336,0	63,7	6,7	0,6	1,1	28	23	153	153	122	0	0	0	104
45	37	-233,0	-44,1	-4,6	-0,4	-0,9	23	19	-86	0	0	86	69	59	59
46	38	-185,0	-35,1	-3,7	-0,3	0,1	25	21	-76	0	0	76	61	52	52
47	39	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	26	21	0	0	0	0	0	0	0
									média	66	53	54	43	81	81
									máximo	210	168	161	129	143	143

Anexo C – Cálculos realizados para a máquina puxador vertical – 2ª Série (39kg)

Puxador Vertical - 2ª série (39kg)													
									1	2	1+2		
Puxador V	Rpm	Rpm	w	v	a	m*	M	Pmec	Pmec	Pgerador	Pmec	Pgerador	Pelect
t (s)	n1	n3	Rad/s	m/s	m/s ²	kg	N.m	W	W	W	W	W	W
8	0	0,0	0,0	0,0	0,0	39	32	0	0	0	0	0	0
9	413	78,3	8,2	0,7	0,7	42	34	282	282	225	0	0	192
10	-264	-50,0	-5,2	-0,4	-1,1	35	28	-149	0	0	149	119	101
11	196	37,1	3,9	0,3	0,8	42	35	135	135	108	0	0	92
12	426	80,7	8,5	0,7	0,4	41	33	282	282	226	0	0	192
13	-462	-87,5	-9,2	-0,8	-1,5	33	27	-250	0	0	250	200	170
14	-229	-43,4	-4,5	-0,4	0,4	41	33	-152	0	0	152	121	103
15	478	90,6	9,5	0,8	1,2	44	36	341	341	273	0	0	232
16	-338	-64,0	-6,7	-0,6	-1,4	34	28	-186	0	0	186	149	126
17	284	53,8	5,6	0,5	1,0	43	36	200	200	160	0	0	136
18	-371	-70,3	-7,4	-0,6	-1,1	35	29	-210	0	0	210	168	143
19	183	34,7	3,6	0,3	0,9	43	35	128	128	102	0	0	87
20	485	91,9	9,6	0,8	0,5	41	34	325	325	260	0	0	221
21	-350	-66,3	-6,9	-0,6	-1,4	33	28	-192	0	0	192	153	130
22	127	24,1	2,5	0,2	0,8	42	35	88	88	70	0	0	60
23	-495	-93,8	-9,8	-0,8	-1,0	35	29	-282	0	0	282	226	192
24	-242	-45,9	-4,8	-0,4	0,4	41	34	-161	0	0	161	129	109
25	453	85,8	9,0	0,8	1,2	44	36	323	323	258	0	0	220
26	-348	-65,9	-6,9	-0,6	-1,3	34	28	-192	0	0	192	153	130
27	169	32,0	3,4	0,3	0,9	42	35	117	117	94	0	0	80
28	-496	-94,0	-9,8	-0,8	-1,1	35	29	-281	0	0	281	224	191
29	-276	-52,3	-5,5	-0,5	0,4	40	33	-183	0	0	183	146	124
30	527	99,9	10,5	0,9	1,3	44	37	382	382	306	0	0	260
31	-384	-72,8	-7,6	-0,6	-1,5	33	27	-207	0	0	207	166	141
32	179	33,9	3,6	0,3	0,9	43	35	125	125	100	0	0	85
33	-416	-78,8	-8,3	-0,7	-1,0	35	29	-238	0	0	238	191	162
34	-291	-55,1	-5,8	-0,5	0,2	40	33	-189	0	0	189	152	129
35	540	102,3	10,7	0,9	1,4	45	37	393	393	314	0	0	267
36	-359	-68,0	-7,1	-0,6	-1,5	33	27	-194	0	0	194	155	132
37	153	29,0	3,0	0,3	0,9	42	35	106	106	85	0	0	72
38	-437	-82,8	-8,7	-0,7	-1,0	35	29	-251	0	0	251	201	170
39	-294	-55,7	-5,8	-0,5	0,2	40	33	-192	0	0	192	154	131
40	350	66,3	6,9	0,6	1,1	43	36	248	248	198	0	0	168
41	-376	-71,2	-7,5	-0,6	-1,2	34	28	-210	0	0	210	168	143
42	185	35,1	3,7	0,3	0,9	43	35	129	129	103	0	0	88
43	-438	-83,0	-8,7	-0,7	-1,0	35	29	-250	0	0	250	200	170
44	-345	-65,4	-6,8	-0,6	0,2	40	33	-223	0	0	223	179	152
45	370	70,1	7,3	0,6	1,2	44	36	265	265	212	0	0	180
46	-352	-66,7	-7,0	-0,6	-1,2	34	28	-197	0	0	197	158	134
47	157	29,7	3,1	0,3	0,8	42	35	109	109	87	0	0	74
48	-340	-64,4	-6,7	-0,6	-0,8	36	29	-198	0	0	198	159	135
49	-219	-41,5	-4,3	-0,4	0,2	40	33	-143	0	0	143	114	97
50	-194	-36,8	-3,8	-0,3	0,0	39	32	-124	0	0	124	99	84
51	0	0,0	0,0	0,0	0,3	40	33	0	0	0	0	0	0
								média	90	72	110	88	136
								máximo	393	314	282	226	267

Anexo D – Cálculos realizados para a máquina puxador vertical – 3ª Série (52kg)

Puxador Vertical - 3ª série (52kg)														
	n1	n3	w	v	a	m*	M	Pmec	Pmec	1	2	1+2		
t (s)	Rpm	Rpm	Rad/s	m/s	m/s ²	Kg	N.m	W	W	Pgerador	Pmec	Pgerador	Pelect	
										W	W	W	W	
10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52	43	0	0	0	0	0	0	
11,0	176,0	33,3	3,5	0,3	0,3	54	44	154	154	123	0	0	105	
12,0	385,0	72,9	7,6	0,6	0,3	54	44	339	339	271	0	0	230	
13,0	-175,0	-33,2	-3,5	-0,3	-0,9	47	39	-135	0	0	135	108	92	
14,0	-320,0	-60,6	-6,3	-0,5	-0,2	51	42	-265	0	0	265	212	180	
15,0	340,0	64,4	6,7	0,6	1,1	58	48	321	321	257	0	0	219	
16,0	-275,0	-52,1	-5,5	-0,5	-1,0	47	38	-209	0	0	209	168	142	
17,0	178,0	33,7	3,5	0,3	0,8	56	46	163	163	130	0	0	111	
18,0	402,0	76,2	8,0	0,7	0,4	54	44	355	355	284	0	0	241	
19,0	-328,0	-62,1	-6,5	-0,5	-1,2	46	38	-244	0	0	244	195	166	
20,0	213,0	40,4	4,2	0,4	0,9	57	47	198	198	158	0	0	134	
21,0	342,0	64,8	6,8	0,6	0,2	53	44	297	297	238	0	0	202	
22,0	-217,0	-41,1	-4,3	-0,4	-0,9	47	39	-167	0	0	167	134	114	
23,0	316,0	59,9	6,3	0,5	0,9	57	47	293	293	234	0	0	199	
24,0	-288,0	-54,6	-5,7	-0,5	-1,0	47	38	-220	0	0	220	176	149	
25,0	166,0	31,5	3,3	0,3	0,8	56	46	152	152	122	0	0	103	
26,0	361,0	68,4	7,2	0,6	0,3	54	44	317	317	254	0	0	216	
27,0	-290,0	-54,9	-5,8	-0,5	-1,1	46	38	-219	0	0	219	175	149	
28,0	127,0	24,1	2,5	0,2	0,7	56	46	116	116	93	0	0	79	
29,0	317,0	60,1	6,3	0,5	0,3	54	44	278	278	223	0	0	189	
30,0	-283,0	-53,6	-5,6	-0,5	-1,0	47	38	-216	0	0	216	173	147	
31,0	124,0	23,5	2,5	0,2	0,7	56	46	113	113	90	0	0	77	
32,0	317,0	60,1	6,3	0,5	0,3	54	44	278	278	223	0	0	189	
33,0	-283,0	-53,6	-5,6	-0,5	-1,0	47	38	-216	0	0	216	173	147	
34,0	124,0	23,5	2,5	0,2	0,7	56	46	113	113	90	0	0	77	
35,0	280,0	53,1	5,6	0,5	0,3	53	44	244	244	195	0	0	166	
36,0	-211,0	-40,0	-4,2	-0,4	-0,8	48	39	-164	0	0	164	132	112	
37,0	-102,0	-19,3	-2,0	-0,2	0,2	53	44	-88	0	0	88	71	60	
38,0	150,0	28,4	3,0	0,3	0,4	54	45	133	133	106	0	0	90	
39,0	179,0	33,9	3,6	0,3	0,0	52	43	153	153	122	0	0	104	
40	-196,0	-37,1	-3,9	-0,3	-0,6	49	40	-156	0	0	156	125	106	
41	-190,0	-36,0	-3,8	-0,3	0,0	52	43	-162	0	0	162	129	110	
42	18,0	3,4	0,4	0,0	0,3	54	44	16	16	13	0	0	11	
43	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	52	43	0	0	0	0	0	0	
								média		119	95	72	58	130
								máximo		355	284	265	212	241

Anexo E – Cálculos realizados para a máquina flexor – 1ª Série (52kg)

Flexor de perna - 1ª série (25kg)															
										1		2		1+2	
0	t(s)	Rpm	Rpm	w	v	a	m*	M	Pmec	Pmec	Pgerador	Pmec	Pgerador	Pelect	
	6	n1	n3	Rad/s	m/s	m/s ²	kg	N.m	W	W	W	W	W	W	
1	7	93	17,6	1,8	0,2	0,2	25	21	39	39	31	0	0	26	
2	8	-333	-63,1	-6,6	-0,6	-0,7	23	19	-126	0	0	126	101	86	
3	9	-55	-10,4	-1,1	-0,1	0,5	26	22	-24	0	0	24	19	16	
4	10	171	32,4	3,4	0,3	0,4	26	21	73	73	58	0	0	49	
5	11	-309	-58,5	-6,1	-0,5	-0,8	23	19	-116	0	0	116	93	79	
6	12	-206	-39,0	-4,1	-0,3	0,2	25	21	-86	0	0	86	69	58	
7	13	130	24,6	2,6	0,2	0,6	26	22	56	56	45	0	0	38	
8	14	-216	-40,9	-4,3	-0,4	-0,6	24	19	-83	0	0	83	66	57	
9	15	-163	-30,9	-3,2	-0,3	0,1	25	21	-67	0	0	67	54	46	
10	16	218	41,3	4,3	0,4	0,6	27	22	95	95	76	0	0	65	
11	17	-198	-37,5	-3,9	-0,3	-0,7	23	19	-75	0	0	75	60	51	
12	18	157	29,7	3,1	0,3	0,6	27	22	68	68	54	0	0	46	
13	19	-292	-55,3	-5,8	-0,5	-0,7	23	19	-110	0	0	110	88	75	
14	20	150	28,4	3,0	0,3	0,7	27	22	66	66	53	0	0	45	
15	21	-263	-49,8	-5,2	-0,4	-0,7	23	19	-100	0	0	100	80	68	
16	22	-177	-33,5	-3,5	-0,3	0,1	25	21	-73	0	0	73	59	50	
17	23	177	33,5	3,5	0,3	0,6	27	22	77	77	61	0	0	52	
18	24	-206	-39,0	-4,1	-0,3	-0,6	23	19	-79	0	0	79	63	54	
19	25	146	27,7	2,9	0,2	0,6	26	22	63	63	51	0	0	43	
20	26	-276	-52,3	-5,5	-0,5	-0,7	23	19	-105	0	0	105	84	71	
21	27	169	32,0	3,4	0,3	0,7	27	22	74	74	59	0	0	51	
22	28	-275	-52,1	-5,5	-0,5	-0,7	23	19	-104	0	0	104	83	71	
23	29	-207	-39,2	-4,1	-0,3	0,1	25	21	-86	0	0	86	68	58	
24	30	291	55,1	5,8	0,5	0,8	27	22	129	129	103	0	0	88	
25	31	203	38,5	4,0	0,3	-0,1	25	20	82	82	65	0	0	56	
26	32	-267	-50,6	-5,3	-0,4	-0,8	23	19	-100	0	0	100	80	68	
27	33	148	28,0	2,9	0,2	0,7	27	22	65	65	52	0	0	44	
28	34	-290	-54,9	-5,8	-0,5	-0,7	23	19	-110	0	0	110	88	75	
29	35	159	30,1	3,2	0,3	0,7	27	22	70	70	56	0	0	48	
30	36	-285	-54,0	-5,7	-0,5	-0,7	23	19	-108	0	0	108	86	73	
31	37	210	39,8	4,2	0,4	0,8	27	22	93	93	74	0	0	63	
32	38	-325	-61,6	-6,4	-0,5	-0,9	23	19	-121	0	0	121	97	82	
33	39	190	36,0	3,8	0,3	0,9	27	22	84	84	68	0	0	57	
34	40	-290	-54,9	-5,8	-0,5	-0,8	23	19	-109	0	0	109	87	74	
35	41	-236	-44,7	-4,7	-0,4	0,1	25	21	-97	0	0	97	78	66	
36	42	-290	-54,9	-5,8	-0,5	-0,1	25	20	-117	0	0	117	94	80	
37	43	253	47,9	5,0	0,4	0,9	27	23	113	113	90	0	0	77	
38	44	-271	-51,3	-5,4	-0,5	-0,9	23	19	-101	0	0	101	81	69	
39	45	221	41,9	4,4	0,4	0,8	27	22	98	98	78	0	0	67	
40	46	0	0,0	0,0	0,0	-0,4	24	20	0	0	0	0	0	0	
									média	34	27	52	42	58	
									máximo	129	103	126	101	88	

Anexo F – Motor Bafang FM G020.350.D

SPECIFICATIONS

Core Data

Wheel Diameter	20" ; 26"/700C/28"
Position	Rear Motor
Construction	Geared Motor
Nominal Voltage	36/43/48 V
Loading of 0W (Rpm)	320rpm ; 285rpm
Rated Power	750 W
Loading of 250W (Rpm)	275rpm ; 230rpm
Max Torque	80 N.m
Efficiency	≥ 80 %

Mounting Parameters

Brake	Disc Brake
Weight	4.6 kg
Installation Widths (OLD)	170-195 mm
Max. Housing Diameter	158 mm
Cabling	Shaft Center, Right
Spoke Specification	12G

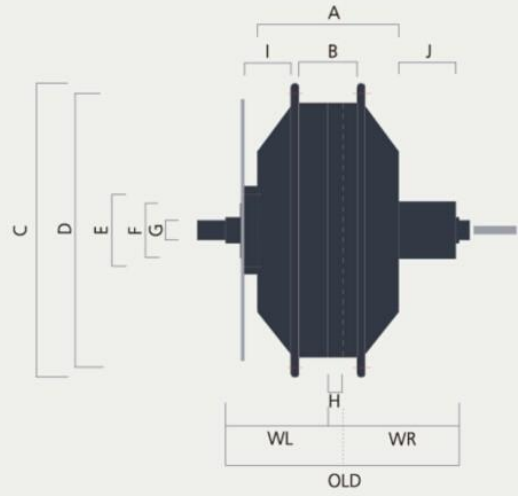
Further Specifications

Cadence (Pulses/Cycle)	6
Reduction Ratio	1:5
Magnet Poles	20
Noise	<55 dB
Hall Sensor	optional
Connector	Waterproof

Tests & Certifications


IP-Code	IP 65
Certifications	ROHS / CE

DIMENSIONS



Dimension A	96mm
Dimension B	68mm
Dimension C	φ158mm
Dimension D	φ145mm
Dimension E	φ44mm
Dimension F	φ33mm
Dimension G	2-M12 x 1.25-6g
Dimension H	2.2-2.8mm
Dimension I	26.5-36.5mm
Dimension J	41mm
Dimension WR	90.4mm

Figura 45 - Características principais do motor selecionado [Bafang18]



Q. Passe o mouse em cima para dar zoom

Bafang 36 v 48 250 w 350 500 brushless motor do cubo da engrenagem do motor dianteiro bicicleta elétrica kits de conversão do motor 20 polegada 26 polegada

[Ver título original em Inglês](#)

★★★★★ 4,8 (25 votos) | 51 pedidos

Preço: €115,04 / item

Preço com desconto: **€ 104,69** / item -9% Somente por 3 dias

51 dias Baixe nosso App para ter preços exclusivos | Preço em quantidade ▾

Cor:

Expedição: **Expedição gratuita para Portugal via DHL** ▾
Estimativa de Entrega: 8-21 dias 📦

Quantidade: itens (2 itens disponível)

Preço total: **€ 207,28**

Cupom de novo usuário:

Promocão da

Figura 46 - Orçamento para o motor selecionado [Aliexpress18]

Anexo G – Inversor selecionado

Descrição do produto

DC 48 v a 220 v 1000 w carro potência do inversor/inversor de energia modificado/uso doméstico power inverter

Entrada: DC40-56V

Saída: Ac180-240V 50 hz

Potência: 1000 w

Potência de pico: 2000 w

Tamanho: 17*10*5.5 cm

Acessórios: Conecte o cabo de alimentação, manual.

Figura 47 - Características inversor selecionado [Aliexpress18]

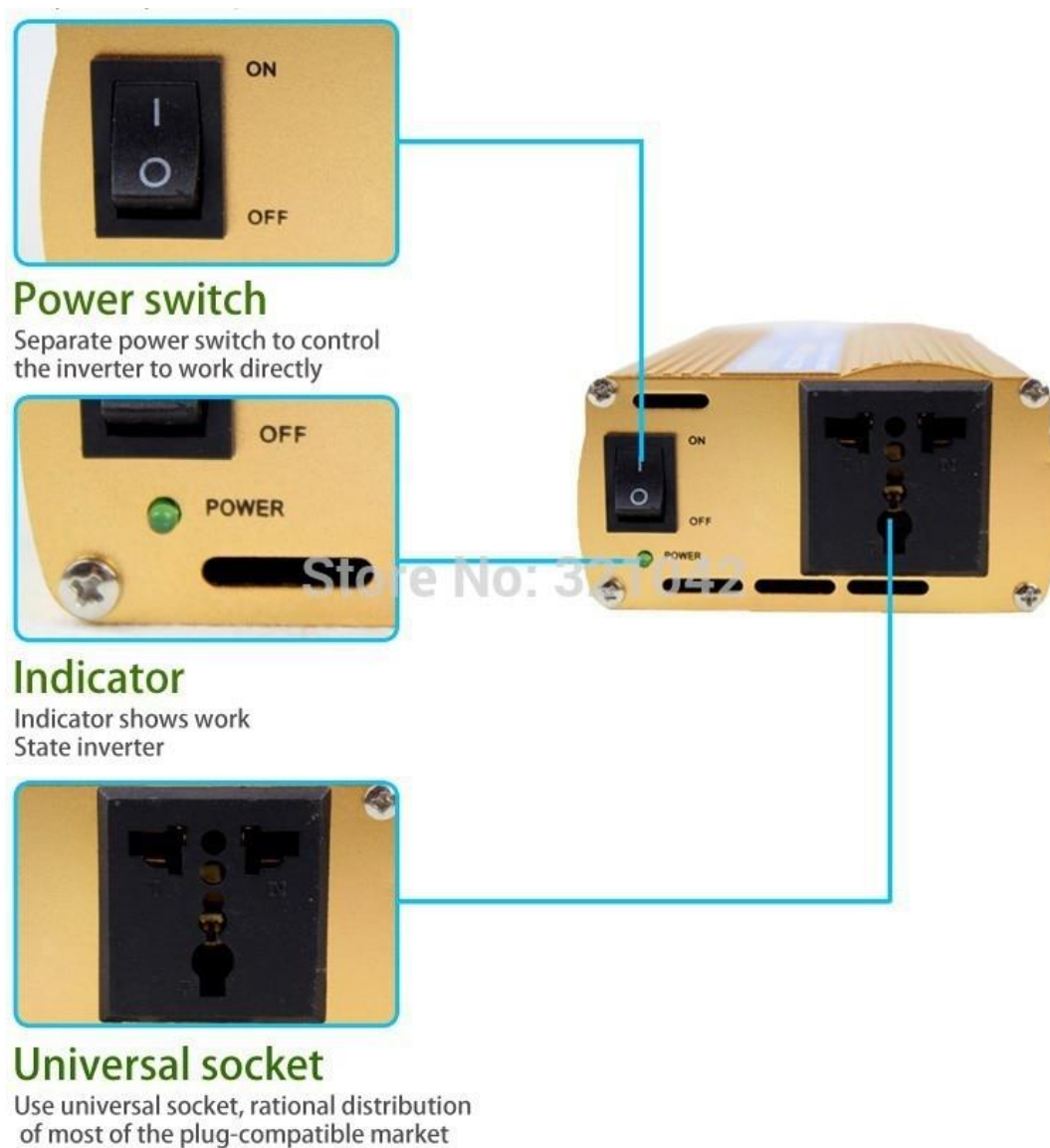


Figura 48 - Inversor selecionado [Aliexpress18]



Figura 49 - Dimensões do inversor [Aliexpress18]

AliExpress

Loja: Kind Shop Antiguidade: 6 ano(s) 98.8% Avaliações positivas

1000 w DC 48 v para AC220V modificado wave power inverter carro/uso doméstico power inverter

Ver título original em Inglês

Preço: €27,66 / item
 Preço com desconto: **€ 24,90** / item -10% 06h:04m:37s

Tensão de entrada: 48V
 Tensão da saída: 220V
 Tipo de Socket: Universal

Expedição: €9,64 para Portugal via China Post Registered Air Mail
 Estimativa de Entrega: 21-38 dias

Quantidade: 1 item (50 itens disponível)

Preço total: €34,54

Comprar agora Adicione ao carrinho

Figura 50 - Orçamento para o inversor selecionado [Aliexpress18]

Anexo H - Contador de energia elétrica (kWh)

The screenshot shows the website interface for 'servelec ELECTRÓNICA'. At the top left is the logo, and at the top right is a shopping cart icon labeled 'Carrinho' with '1 Itens - 14.90 €' and a 'Finalizar Encomenda' button. A search bar with the placeholder 'O que procura?' is located below the logo. A navigation menu includes categories like 'BRICOLAGE', 'CABOS E FICHAS', 'COMPONENTES', 'INFORMÁTICA', 'ENERGIA', 'FERRAMENTAS', 'SEGURANÇA', 'SDM, IMAGEM E LUZ', 'TDT E SATÉLITE', 'MATERIAL ELÉTRICO', and 'ILUMINAÇÃO'. The main content area features a promotional banner on the left with the text 'ESPECIAL CAMPING & OUTDOOR' and an image of a family. The central product listing is for a 'CONTADOR DE ENERGIA 220V/16A C/ LCD PEREL' (REF: E305EM6-G) priced at 14.90€. The product image shows a white digital meter with a display showing '0000'. To the right of the image, there is a list of features: '- Determine os gastos energéticos dos seus aparelhos com este contador de energia digital', '- Carga máxima: 3600W / 16Ah', '- Resolução de consumo: 0.01kWh', '- Visualizações: Potência / Consumo / Gas', and '- Dimensões: 55x115x75mm / Peso: 120Gr'. Below the image are social sharing buttons for Facebook, Google+, and Twitter, along with options to 'Adicionar aos favoritos', 'Enviar a um amigo', and 'Imprimir'. On the far right, there is a 'Disponibilidade:' section with a green dot for 'Queluz' and an orange dot for 'Algés', and a 'Quantidade' input field set to '1' with an 'Adicionar' button.

Figura 51 - Contador de energia elétrica produzida [Servelec18]