

Universidade do Minho
Escola de Ciências

Pedro Miguel Neiva Dias

**Desenvolvimento de um Kit Didático
de Energia Eólica**

abril de 2018



Universidade do Minho
Escola de Ciências

Pedro Miguel Neiva Dias

Desenvolvimento de um Kit Didático de Energia Eólica

Dissertação de Mestrado
Mestrado em Ciências e Tecnologias do Ambiente - Energia

Trabalho realizado sob orientação do
Professor Doutor Vasco Teixeira
e do
Professor Doutor Joaquim Carneiro

abril de 2018

DECLARAÇÃO:

Nome: Pedro Miguel Neiva Dias

Endereço Eletrónico: pedromdias94@gmail.com Telefone: (+351 934646242)

Número de identificação civil: 14651729

Título da Tese de Mestrado: Desenvolvimento de um Kit Didático de Energia Eólica

Orientadores:

Professor Doutor Vasco Teixeira

Professor Doutor Joaquim Carneiro

Ano de conclusão: 2018

Mestrado em Ciências e Tecnologias do Ambiente - Energia

1. É AUTORIZADA A REPRODUÇÃO INTEGRAL DESTA TESE, APENAS PARA EFEITOS DE INVESTIGAÇÃO MEDIANTE DECLARAÇÃO ESCRITA DO INTERESSADO QUE A TAL SE COMPROMETE

Universidade do Minho, 30 de Abril de 2018

Agradecimentos

Ao fim desta longa caminhada, todos os momentos passados com todas as pessoas que me rodearam irão ser guardados com carinho e irão me acompanhar para o resto da minha VIDA. Um eterno obrigado a todos. Por todos os momentos passados, pelas alegrias, pelas tristezas, pelos momentos de diversão e por me terem ajudado a tornar-me na pessoa que sou.

Um obrigado ao meu orientador, doutor Joaquim Carneiro por todos os conselhos, foram todos absorvidos e espero aplicá-los para sempre no meu futuro. Pela ajuda no surgimento da ideia para o projeto de tese e pelas sugestões, e por ter corrigido a tese. O meu muito obrigado.

Aos meus pais, António Abel Correia Dias e Maria Helena Neiva da Rocha, um eterno obrigado pelo apoio fundamental prestado, mesmo quando os piores momentos tardavam em não passar. Obrigado pela educação, por meterem incentivo a acreditar sempre em mim mesmo, e por apoiarem a 100% a minha luta pelos meus objetivos. Prometo levar toda essa crença e dedicação para o futuro!! Espero que estejam orgulhosos!

À minha irmã, porque apesar de todas as discussões, está lá sempre para ajudar e incentivar! Obrigado por tudo! Já sabes, União de Ferro! Sempre aqui! Venha o meu afilhado agora!!

À minha avó por nunca me ter deixado pensar negativo, por estar sempre com o netinho preferido e por todas as demonstrações de afeto! Obrigado por todas as palavras carinhosas mesmo quando estas chateada! Love You!

Ao primo, pela sua eterna amizade e pela capacidade de tornar os problemas fáceis. Sempre juntos meu rapaz!!

Aos meus melhores amigos, Ricardo Rego e Ivan Oliveira. Pelos conselhos. Pela ajuda. Por tudo. Não dá para descrever todos os momentos que passamos juntos. Sem vocês, não teria a mesma graça. Continuem sempre com os feitios e vontades de serem os melhores. Para além de pilares, são sempre um exemplo para mim! Obrigado, vocês são os maiores! Estaremos juntos sempre, passando por cima de qualquer dificuldade! Love you, bromance para a vida!

Ao meu grupo mais chegado de amigos: André Eiras, Miguel Cruz, Filipe Miranda, Maria João Fernandes, Elisabete Pereira, João Tarolas, Cátia Lobo, Pedro Lopes, Filipa Silva, Isabel lameira, Flávia Pinto, Carolina Sousa, Inês Gois, Alexandra Fernandes, Ana Maria Oliveira e Paulo Fernandes. Obrigado por me aturarem todos estes anos, pelas conversas, pelos conselhos, pelos cafés, por me ajudarem com os meus problemas mesmo às vezes sem saberem deles e por me ajudarem a ser quem sou. Estamos a conquistar isto todos juntos! Um eterno obrigado a todos vocês! Já sabem que estarei com vocês para sempre.

Obrigado à minha afilhada, Palmira Carvalho. Apesar de não estarmos tantas vezes juntos, seja por questões profissionais, escolares ou outras quaisquer, obrigado. Sem saberes, foste muitas vezes um dos meus apoios e sempre me fizeste acreditar em mim mesmo. Gosto muito de ti e estarei sempre aqui para o que precisares.

À Caroline, por nunca deixar de acreditar em mim, mesmo que por vezes o cenário não seja o melhor. Obrigado por o teres feito desde que te conheço. Por teres sido um dos maiores alicerces nesta caminhada, e pela paciência. És uma mulher fortíssima e nunca te esqueças disso! Desejo que tenhas um futuro brilhante e que sejas feliz para sempre, como sempre o tentei fazer. Obrigado teres feito parte desta caminhada e por também teres conquistado isto!

Ao staff da salsa com quem tive o prazer de privar e conviver. Já sabem que essa foi uma das experiências mais marcantes da minha vida e estou grato por tudo. Um especial obrigado às minhas chefinhas por terem feito de mim um leão no que toca à procura do primeiro lugar, a nível de vendas e sobretudo pelos conselhos de amizade: Patrícia, Guiomar, Bianca, Carla, Tânia e Marcela. Um beijinho. Mas nunca vou esquecer as amigadas que foram criadas com todos, especialmente com Diana, Natália, Andreia, David, Paulo, Ângela, Fátima, Juliana, Sónia, Paulinha e Helena. Tenho saudades daqueles fechos nos restaurantes e manhãs cheios de sono. Obrigado por tudo, sabem o quão importante são para mim. 2003 para sempre!

Ao João Costeira, por toda a força de vontade e capacidade de trabalho que demonstraste e continuas a demonstrar. És um exemplo nesse sentido, acredita! Obrigado por teres estado comigo em toda esta caminhada como CEK! Apesar de às vezes discordarmos, acabamos sempre por nos entender. Vamos vingar no mercado mais cedo ou mais tarde!

OBRIGADO A TODOS!

Resumo

Com as crescentes notícias que têm vindo a público sobre a diminuição da camada de ozono e do aquecimento global, foi despoletada uma preocupação geral não só nos cidadãos, mas sobretudo nos governos dos mais diversos países do mundo. Neste contexto, têm vindo a ser tomadas diversas medidas pelas estruturas de governo mundiais de modo a combater e/ou mitigar esta problema e, na União Europeia, foram realizadas várias cimeiras visando debater e estabelecer as estratégias e medidas mais eficazes para que num futuro próximo possamos viver num ambiente mais sustentável. Deste modo, vivemos numa época em que é crescente a preocupação em se tenta reduzir o consumo de combustíveis fósseis e aumentar substancialmente o consumo de energia a partir de fontes limpas e com recursos inesgotáveis. Portugal, devido aos seus escassos recursos no âmbito das fontes fósseis viu-se obrigado a suprir as suas necessidades energéticas através da utilização das energias renováveis, o que permitiu que sejamos um dos países que ocupam os lugares cimeiros nos rankings europeus no que concerne às energias renováveis. Atualmente, a energia eólica representa cerca de 23% da energia elétrica total produzida em Portugal, e prevê-se que a sua quota de participação cresça ainda mais, o que comprova a aposta crescente neste tipo de energia cujos recursos são infindáveis. Assim sendo, e existindo cada vez mais um aumento do desinteresse dos estudantes do ensino secundário pelas áreas ou carreiras científicas, é absolutamente necessário desenvolver estratégias com o intuito de se captar a atenção das gerações futuras e mostrar o potencial deste tipo de energias criando-se assim o interesse nestas áreas do conhecimento, e estando-se simultaneamente a dar um contributo positivo para um futuro sustentável com cada vez mais profissionais adstritos a esta área. Neste trabalho de mestrado foi desenvolvido um kit didático de energia eólica que tem por objetivo contribuir para que os estudantes obtenham conhecimentos em diversas áreas (desde a energia à eletrónica), sem no entanto descurar a parte lúdica que irá contribuir para captar mais eficientemente a atenção dos alunos. Este kit será dirigido numa primeira fase às escolas secundárias e mais tarde, o alvo passará também pela sua utilização nas escolas profissionais e até nas universidades, pelo que as experiências que estarão incluídas no kit serão adaptadas e pensadas para cada tipo de idade e tipo de grau de ensino. No decorrer desta dissertação, perceber-se-á que o objetivo final passa pela criação de uma empresa com o estatuto de spin-off da universidade do Minho, sendo que o desenvolvimento deste projeto tenha já mostrado todo o potencial de negócio da ideia através dos prémios alcançados em diferentes competições nacionais e internacionais.

Abstract

With the growing news that the ozone layer and global warming are declining, a general concern has arisen not only among the citizens, but above all in the governments of the most diverse countries in the world. In this context, various measures have been taken by global governance structures to combat and / or mitigate this problem, and in the European Union a number of summits have been held to discuss and establish the most effective strategies and measures to ensure that in the near future we can live in a more sustainable environment. So, we are living in a time of growing concern about reducing fossil fuel consumption and substantially increasing the consumption of energy from clean sources with inexhaustible resources. Portugal, because of its scarce resources in the field of fossil fuels, has been obliged to supply its energy needs through the use of renewable energies, which has allowed us to be one of the top countries in the European rankings for energy renewable energy sources. Currently, wind energy accounts for about 23% of the total electricity produced in Portugal, and its share of participation is expected to grow even more, which is evidence of the growing commitment to this type of energy whose resources are endless. Thus, with increasing lack of interest in secondary education by scientific areas or careers, it is absolutely necessary to develop strategies to capture the attention of future generations and to show the potential of this type of energy by creating so the interest in these areas of knowledge, while simultaneously making a positive contribution to a sustainable future with more professionals working in this area. In this master's work a wind energy didactic kit was developed to help students obtain knowledge in various areas (from energy to electronics), without neglecting the playful part that will help to capture the attention more efficiently from the students. This kit will be directed in the first stage to secondary schools and later the target will also be used in professional schools and even universities, so the experiences that will be included in the kit will be adapted and designed for each type of age and type of degree of education. In the course of this dissertation, it will be noticed that the final objective is to create a company with the spin-off status of the University of Minho, and the development of this project has already shown the full business potential of the idea through prizes achieved in different national and international competitions.

INDICE

AGRADECIMENTOS	III
RESUMO	V
ABSTRACT	VII
INDICE	VIII
LISTA DE SIGLAS/ABREVIATURAS	XII
LISTA DE FIGURAS	XIII
LISTA DE TABELAS.....	XV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO DA SITUAÇÃO ENERGETICA MUNDIAL	5
1.2. ENQUADRAMENTO DA SITUAÇÃO ENERGETICA PORTUGUESA.....	8
1.3. METAS E PLANO DE AÇÃO PORTUGUÊS	9
1.4. ENQUADRAMENTO DOS OBJECTIVOS E ESTRATÉGIA NACIONAL PARA AS ENERGIAS RENOVÁVEIS	10
2. EÓLICA EM PORTUGAL	12
3. GERAÇÃO EÓLICA.....	14
3.1. FATORES QUE INFLUENCIAM O REGIME DOS VENTOS.....	15
3.2. VELOCIDADES DO VENTO E SUAS CARACTERIZAÇÕES.....	16
3.3. A ENERGIA DO VENTO: DENSIDADE DO AR E ÁREA DO ROTOR.....	17
3.4. VARIAÇÃO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA COM A ALTITUDE.....	18
3.5. VARIAÇÃO DA TEMPERATURA ATMOSFÉRICA COM A ALTITUDE	19
3.6. VARIAÇÃO DA DENSIDADE COM A ALTITUDE	20
4. TECNOLOGIA EÓLICA	21
4.1. COMPONENTES DA TURBINA.....	21
4.2. IDENTIFICAÇÃO DE POTENCIAIS LOCAIS.....	23
4.3. MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO	26
4.4. TIPO DE TURBINAS	26
4.5. DIMENSÃO DAS TURBINAS.....	28

4.6.	CONVERSÃO DA ENERGIA DO VENTO EM ENERGIA MECÂNICA.....	29
4.7.	ANÁLISE DOS RESULTADOS DE UMA TURBINA EÓLICA.....	33
4.7.1.	CURVA DE POTÊNCIA.....	33
4.7.2.	DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL.....	34
4.7.3.	FUNÇÃO DISTRIBUIÇÃO DE POTÊNCIA.....	36
4.7.4.	ENERGIA BRUTA PRODUZIDA.....	36
4.7.5.	ENERGIA BRUTA CORRIGIDA.....	37
5.	CONSTRUÇÃO DO KIT EÓLICO PARA ENSINO SECUNDÁRIO.....	38
5.1.	METODOLOGIA PEDAGÓGICA.....	40
5.2.	FORNECEDORES DOS COMPONENTES NECESSÁRIOS AO DESENVOLVIMENTO DO KIT EÓLICO.....	42
5.3.	MATERIAIS UTILIZADOS.....	43
5.3.1.	ANEMOMETRO.....	43
5.3.2.	TURBINA.....	44
5.3.3.	SOPRADOR.....	45
5.3.4.	MULTÍMETRO.....	46
5.3.5.	RESISTÊNCIA ELÉTRICA.....	47
5.4.	MONTAGEM KIT EÓLICO.....	47
5.5.	EXPERIÊNCIAS PRÁTICAS.....	50
5.5.1.	EXPERIÊNCIA 1- DETERMINAÇÃO DA CURVA DE POTÊNCIA ATRAVÉS DA VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO INCIDENTE.....	50
5.5.2.	EXPERIÊNCIA 2 – DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE POTÊNCIA ATRAVÉS DAS VELOCIDADES DE ENTRADA E DE SAÍDA DA TURBINA.....	53
6.	COMPACT ENERGY KITS.....	58
6.1.	IDEALAB.....	58
6.2.	LABORATÓRIO DE EMPRESAS.....	59
6.3.	VENTURE CUP PORTUGAL.....	60
6.4.	UNIVERSITY START-UP WORLD CUP.....	61
6.5.	PRESPETIVAS FUTURAS.....	63
6.6.	RESUMO DO PLANO DE NEGÓCIOS.....	63
6.6.1.	SUMÁRIO EXECUTIVO.....	63

6.6.2. SEGMENTOS DE MERCADO.....	64
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	66
ANEXO I	70

Lista de siglas/abreviaturas

FER- Fontes de energia Renováveis

CEK-Compact Energy Kits

Lista de figuras

FIGURA 1 - CONSUMO DE ENERGIA A NÍVEL MUNDIAL ENTRE 1900 E 2000	2
FIGURA 2 - EVOLUÇÃO PREVISTA DO CONSUMO FINAL BRUTO DE ENERGIA (KTEP)	10
FIGURA 3 - EVOLUÇÃO ESTIMADA DA CAPACIDADE INSTALADA (METAS)	11
FIGURA 4 - EVOLUÇÃO ESTIMADA DA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE (METAS)	11
FIGURA 5 - PERCENTAGEM OCUPADA PELA ENERGIA EÓLICA NO TOTAL DA ENERGIA CONSUMIDA POR PAÍS, NA UNIÃO EUROPEIA.	13
FIGURA 6 - REPRESENTAÇÃO DO MECANISMO FORMAÇÃO DOS VENTOS.	14
FIGURA 7 – VARIAÇÃO DO VENTO COM A ALTURA, EM 3 CENÁRIOS DIFERENTES.....	15
FIGURA 8 - VARIAÇÃO DA PRESSÃO ATMOSFÉRICA (ATM) COM A ALTITUDE (KM)	19
FIGURA 9 - VARIAÇÃO DA TEMPERATURA (°C) EM FUNÇÃO DA ALTURA(KM)	20
FIGURA 10 - VARIAÇÃO DA DENSIDADE(KG/M3) EM FUNÇÃO DA ALTITUDE(KM).	21
FIGURA 11 - PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA TURBINA EÓLICA.	21
FIGURA 12 - ATLAS IBÉRICO DO VENTO.....	24
FIGURA 13- VALORES DE VELOCIDADE TÍPICA DO VENTO NA EUROPA (KM/H)	25
FIGURA 14 -TRÊS TIPOS DE TURBINAS FALADOS ANTERIORMENTE.	27
FIGURA 15 - EVOLUÇÃO DAS TURBINAS COM O PASSAR DOS ANOS	28
FIGURA 16 – FLUXO DE AR ATRAVÉS DE UMA ÁREA TRANSVERSAL A	30
FIGURA 17 - LEI DA CONTINUIDADE DE FLUXO MÁSSICO.....	31
FIGURA 18 - FORMA TÍPICA DE UMA CURVA DE POTÊNCIA DE UMA TURBINA.....	34
FIGURA 19 - DISTRIBUIÇÃO DE WEIBULL NA REGIÃO DE AVEIRO.....	35
FIGURA 20 - EXEMPLO DE MATERIAL "DIDÁTICO" UTILIZADO NAS ESCOLAS SECUNDÁRIAS..	39
FIGURA 21 - OUTRO EXEMPLO DE UM MATERIAL UTILIZADO PARA QUE SEJAM APRENDIDOS OS CONTEÚDOS SOBRE ENERGIA	39
FIGURA 22 - LOGÓTIPO OFICIAL DO WEBSITE BANGOOD.....	42
FIGURA 23 - LOGÓTIPO OFICIAL DO WEBSITE ALIEXPRESS.....	42
FIGURA 24 - ANEMÓMETRO UTILIZADO NA CONSTRUÇÃO DO KIT.....	44
FIGURA 25 - TURBINA UTILIZADA PARA A CONSTRUÇÃO DO KIT EÓLICO.....	45

FIGURA 26 - MULTÍMETRO XINDAR DP1000.031, ESCOLHIDO PARA A REALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA.....	47
FIGURA 27 EXEMPLO DE UM AMPERÍMETRO COM 40Ω	47
FIGURA 28 - CIRCUITO MONTADO PARA A CONCEÇÃO DO PROTÓTIPO	48
FIGURA 29 - FOTO DO KIT EÓLICO MONTADO	49
FIGURA 30 - RELAÇÃO ENTRE A POTÊNCIA MECÂNICA CALCULADA NA EXPERIÊNCIA E A VELOCIDADE DO VENTO À ENTRADA DA TURBINA.....	53
FIGURA 31 - RELAÇÃO ENTRE O COEFICIENTE DE POTÊNCIA E A VELOCIDADE DE ENTRADA NA TURBINA.	57
FIGURA 32 - RELAÇÃO ENTRE A POTÊNCIA MECÂNICA E A VELOCIDADE DE ENTRADA NA TURBINA.....	57
FIGURA 33 - CERTIFICADO DE PARTICIPAÇÃO NO IDEALAB, E COMPETÊNCIAS ADQUIRIDAS NO PROGRAMA.....	59
FIGURA 34 - LOGÓTIPO OFICIAL DO LABORATÓRIO DE EMPRESAS DA TECMINHO	60
FIGURA 35 - MOMENTO DA ENTREGA DO PRÉMIO DA CATEGORIA GREENTECH À EQUIPA DA COMPACT ENERGY KITS.	61
FIGURA 36 - CERTIFICADO DO PRÉMIO "GREEN INITIATIVE AWARD" RECEBIDO NA UNIVERSITY START UP WORLD CUP	62

Lista de Tabelas

TABELA 1 -TIPOS DE ENERGIAS EXISTENTES E QUAIS AS SUAS FONTES.....	3
TABELA 2- ENERGIA CONSUMIDA A NÍVEL MUNDIAL, POR REGIÃO.....	5
TABELA 3 - ENERGIA CONSUMIDA A NÍVEL MUNDIAL, POR REGIÃO.....	6
TABELA 4 - ENERGIA PRODUZIDA MUNDIALMENTE, POR COMBUSTÍVEL.....	7
TABELA 5- GERAÇÃO ELÉTRICA MUNDIAL, POR COMBUSTÍVEL	7
TABELA 6 - CLASSIFICAÇÃO DO VENTO CONSOANTE A SUA VELOCIDADE.....	16
TABELA 7-PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE 3 TIPOS DE TURBINAS EÓLICAS.....	28
TABELA 8 – ESPECIFICAÇÕES DO ANEMÓMETRO UTILIZADO NA REALIZAÇÃO DA EXPERIÊNCIA	43
TABELA 9- TABELA DE REGISTO DOS DADOS OBTIDOS PELOS ALUNOS EXPERIMENTALMENTE, NA PRIMEIRA EXPERIÊNCIA.....	51
TABELA 10- TABELA FORNECIDA AOS PROFESSORES COM DADOS APROXIMADOS DOS QUE TERÃO OS ALUNOS, NA PRIMEIRA EXPERIÊNCIA.....	52
TABELA 11- TABELA DE REGISTO DOS DADOS OBTIDOS PELOS ALUNOS EXPERIMENTALMENTE, NA SEGUNDA EXPERIÊNCIA	54
TABELA 12- TABELA FORNECIDA AOS PROFESSORES COM DADOS APROXIMADOS DOS QUE TERÃO OS ALUNOS, NA SEGUNDA EXPERIÊNCIA.....	56

1. Introdução

A física corresponde ao estudo da natureza de forma a ser possível entender como as coisas existem no universo, independentemente da nossa existência. Deste modo, somos permanentemente confrontados com os mais diversos acontecimentos que vão ocorrendo e que a física tenta exprimi-los em números, sendo eles mensuráveis.

Existem bastantes exemplos referentes a grandezas fundamentais onde a física “atua”, como o tempo, o espaço, a massa, a temperatura ou a intensidade de corrente elétrica. Para explorarmos e estudarmos as relações existentes entre as grandezas conhecidas, deve-se definir um conceito geral para que se possam expressar essas mesmas relações de uma maneira sistemática. O conceito definido é a energia.

A energia representa a capacidade de realizar um trabalho. Podemos transformar a energia de uma forma para outra, mas não criá-la a partir do nada [1]. Existem várias formas de energia como por exemplo a potencial gravítica, a energia cinética, a energia calorífica, a energia mecânica, a energia eólica, entre muitos outros tipos de energia.

Atualmente, existem vários tipos de dilemas que condicionam o avanço da civilização no nosso planeta, ou seja, tal como pode ser observado na Figura 1, a raça humana é totalmente dependente do consumo de energia nas suas mais diversas formas [2]. Contudo, no que concerne ao aproveitamento é sabido que a maior parte da energia que o homem utiliza provém maioritariamente de origens não renováveis.

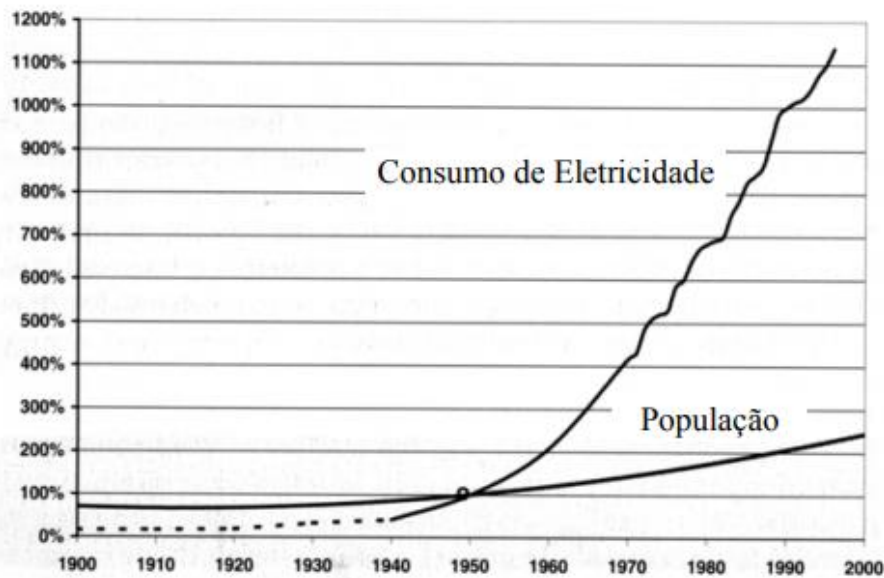


Figura 1 - Consumo de energia a nível mundial entre 1900 e 2000 [2]

Afirmar que uma determinada fonte de energia é de origem não renovável significa que essa fonte de energia pode acabar mais cedo ou mais tarde. Sabemos também que as energias que mais usamos são também as mais poluentes para o nosso planeta, já que libertam vários gases nocivos para o meio ambiente durante a sua produção [3]. Atendendo a todos estes factos, tornou-se muito urgente a necessidade de se implementar novas formas de produção de energia para que não se causasse mais efeitos negativos sobre o nosso planeta, e ainda para suprir as necessidades das gerações futuras que também irão estar dependentes das diversas formas de energia utilizadas até aos dias de hoje. Sabendo então que a energia pode ser utilizada duma maneira mais sustentável não só em termos de pegada ecológica mas também numa perspetiva económica, a aposta nas fontes renováveis como o sol e o vento constituem uma trajetória absolutamente irreversível e que condicionará todo o desenvolvimento futuro da humanidade.

As energias renováveis, foram adotadas como uma resposta à problemática cada vez maior da poluição que está diretamente associada à produção de energia elétrica com base na utilização de combustíveis fósseis (petróleo, carvão, gás natural. [3], [4]). Na verdade, trata-se de uma questão que cada vez mais está associada às preocupações tanto de natureza económica quanto ambiental e é encarada como uma ótima oportunidade para corresponder a um verdadeiro ponto de viragem no domínio da produção de energia elétrica que tenha como base a

utilização de fontes limpas de energia. Com efeito, as fontes renováveis de energia comportam menos emissões de gases poluentes de estufa ou outros fenómenos de poluição ambiental, não obstante não estarem completamente isentas de fenómenos de poluição já que, o fabrico dos equipamentos que utilizam estas fontes renováveis como por exemplo os sistemas adstritos às fileiras do solar fotovoltaico ou eólico, está sempre associado a um qualquer mecanismo de poluição ambiental [5]. Na tabela 1 podemos observar quais as formas de energia existentes e também as fontes de onde provêm.

Tabela 1 -Tipos de energias existentes e quais as suas fontes. (adaptado de [5])

Fontes		Energia Primária	Energia Secundária	
Não Renováveis	Fósseis	Carvão mineral	Energia termoelétrica, calorífica, e combustível para transporte	
		Petróleo e derivados		
Gás natural				
	Nuclear	Materiais de fissão nuclear	Energia termoelétrica, energia calorífica	
Renováveis	"tradicionais"	Biomassa (Fonte: Lenha)	Energia calorífica	
	"convencionais"	Energia hidroelétrica com potenciais hidráulicos de médio e grande porte		
		Energia elétrica com potenciais elétricos de pequeno porte		
	"Novas"	Biomassa (Fontes:		Biocombustíveis, Energia termoelétrica, energia calorífica
		Outros	Energia solar	Energia calorífica, energia elétrica
			Geotermal	Energia calorífica, energia elétrica
			Eólica	Energia elétrica
Mar motriz e das ondas				

Pode-se afirmar que é possível acedermos a essa energia necessária para que sejam supridas as necessidades do ser humano, mas cujo principal desígnio consiste em extrairmos essa energia a

partir de fontes mais limpas e renováveis, podendo-se neste domínio destacar a energia eólica, solar, hídrica, geotérmica, entre outras.

Apesar de ser cada vez mais notório a crescente preocupação em alterar o paradigma instalado, ainda existe um universo muito alargado de pessoas que estão muito mal informadas e que ainda desconhecem o conceito e importância das energias renováveis. No caso de Portugal, as escolas, ainda não têm nenhuma estratégia eficaz que vise informar, ensinar, e suscitar nos estudantes o devido e necessário interesse acerca desta área que pode ser bastante proveitosa em várias dimensões. Uma das dimensões refere-se à vertente económica, já que a formação de profissionais especializados nesta área de conhecimento poderá não só explorar novas formas e novos materiais (de modo a reduzir os custos dos materiais envolvidos) como também contribuir positivamente para catapultar Portugal para um mercado onde ainda existe muito por explorar. Estas formas de energia são também cruciais, visto que permitem que cada vez se diminua a necessidade de importação de energia a partir de outros países, criando-se assim uma ideal independência energética que será muito benéfica para o país e trará mais-valias económicas absolutamente incontestáveis [6]. Com efeito, a aposta e o desenvolvimento da fileira das renováveis permite ainda o aparecimento de profissionais especializados na área das energias renováveis, uma vez que investindo e investigando em novas maneiras de se obter a independência energética face às energias oriundas de fontes poluentes, estaremos não só a melhorar a qualidade de vida das populações (menores impactos ambientais) mas também a contribuir para o aumento da empregabilidade associada à fileira das renováveis [7][8], e a caminhar para o cumprimento das diversas metas impostas pela União Europeia.

De todas as formas de produção de energia existentes, este trabalho foca-se no estudo da energia eólica, bem como na melhor forma de despoletar o interesse dos estudantes pelas energias renováveis nas escolas Portuguesas, sustentando-se em vários estudos que suportam a ideia de que é em idades mais jovens onde é maior a capacidade de apreensão das diversas matérias ensinadas e por conseguinte, condicionando os comportamentos e atitudes futuras dos jovens.

1.1. Enquadramento da situação energética mundial

Tal como foi anteriormente mencionado, a dependência energética é cada vez maior à escala global, já vez que esta constitui um dos principais pilares do crescimento, competitividade e desenvolvimento das economias modernas, e cada vez mais será uma tendência para as gerações futuras. Assim sendo, têm-se expressada uma nova fase de crescimento em termos de consumo e produção energética a nível mundial.

Observando-se a tabela 2, é possível constatar que os países que mais se desenvolveram num passado recente foram também aqueles que mais energia consumiram.

Tabela 2- Energia consumida a nível mundial, por região. [9]

	1995	2000	2005	2010	2014	2014 (%)
EU-28	1648	1695	1793	1725	1565	11.4%
China	1055	1149	1830	2629	3066	22.4%
United States	2067	2273	2319	2215	2216	16.2%
Asia*	867	1038	1237	1526	1741	12.7%
Russia	637	619	652	688	711	5.2%
Africa	444	496	600	694	772	5.6%
Middle East	307	353	468	623	721	5.3%
Rest of the World	2202	2414	2635	2852	2907	21.2%
World	9227	10037	11533	12952	13699	100.0%

TOTAL 2014: 13 699 Mtoe

Na verdade, a China desde 1995 até 2014 teve um enorme crescimento ao nível do consumo energético, triplicando neste espaço temporal os 1055 milhões toneladas equivalentes de petróleo obtidos em 1995. Este crescimento contribuiu para que a China seja neste momento o país que mais energia consome, sendo responsável por 22,4% do consumo energético mundial. O segundo país que mais consome energia são os Estados Unidos da América do Norte, que são responsáveis por cerca 16,2%, onde a União Europeia é responsável por 11,4% deste consumo.

O aumento da procura de energia mundial exige que a produção de energia também aumente significativamente. Uma vez mais, a China é responsável pela maior produção de energia, já que produziu cerca de 2593 milhões de toneladas equivalentes de petróleo, e que se traduz num

crescimento de 143% em relação ao ano de 1995. Este crescimento fez com que a China seja, neste momento, a grande potência que mais energia produz, estando vinculada a 18,8% da energia total produzida mundialmente [9]. Por outro lado, a União Europeia tem verificado uma regressão em termos de produção energética desde 1995, sendo que apenas contribui mundialmente com 5,6% de energia produzida, como se pode comprovar pela observação da Tabela 3.

Tabela 3 - Energia consumida a nível mundial, por região.[9]

	1995	2000	2005	2010	2014	2014(%)
EU-28	966	950	909	840	775	5.6%
China	1064	1129	1707	2316	2593	18.8%
United States	1659	1667	1631	1723	2012	14.6%
Middle East	1137	1324	1516	1619	1807	13.1%
Asia*	815	922	1105	1343	1496	10.8%
Russia	968	978	1203	1279	1306	9.5%
Africa	774	885	1087	1173	1129	8.2%
Rest of the World	1880	2176	2430	2575	2687	19.5%
World	9263	10032	11588	12869	13805	100.0%

TOTAL 2014: 13 805 Mtoe

Como é do conhecimento geral, o petróleo representa o principal combustível usado na produção energética, sendo que representa cerca de 31,2% da produção mundial. Por outro lado, as energias renováveis representam apenas cerca de 13,7% da energia produzida mundialmente, contando assim com um crescimento de 56% em relação ao ano de 1995. Na Tabela 4 pode ser observado o crescimento de cada combustível desde 1995 até 2004 [9].

Tabela 4 - Energia produzida mundialmente, por combustível. [9]

	1995	2000	2005	2010	2014	2014(%)
Petroleum and Products	3397	3701	4044	4067	4308	31.2%
Solid Fuels	2220	2278	2997	3667	3976	28.8%
Gas	1811	2064	2371	2715	2928	21.2%
Renewables	1211	1292	1434	1670	1894	13.7%
Nuclear	608	676	722	719	661	4.8%
Other	17	21	21	30	37	0.3%
Total	9263	10032	11588	12869	13805	100.0%

TOTAL 2014: 13 805 Mtoe

Relativamente à produção de eletricidade, a Tabela 5 mostra que os combustíveis fósseis são responsáveis pela maior representatividade, já que deles provêm cerca de 40% da produção elétrica mundial. A segunda maior quota de representatividade refere-se às energias limpas/renováveis, com efeito, são responsáveis por cerca de 22,3% da produção elétrica anual. Em relação a 1995, tiveram um crescimento de 101%, logo a seguir ao gás natural que apresentou um crescimento de 154%.

Tabela 5- Geração elétrica mundial, por combustível. [9]

	1995	2000	2005	2010	2014	2014(%)
Solid Fuels	4992	6005	7335	8665	9707	40.8%
Petroleum and Products	1279	1251	1178	982	1023	4.3%
Gas	2022	2753	3706	4828	5155	21.6%
Renewables	2637	2837	3291	4205	5323	22.3%
Hydro*	2479	2619	2934	3442	3895	16.4%
Solar/Wind/Other*	10	35	120	384	928	3.9%
Biofuels and Waste*	131	164	223	367	493	2.1%
Geothermal*	40	52	58	68	77	0.3%
Nuclear	2332	2591	2768	2756	2535	10.6%
Other	24	34	46	58	72	0.3%
Total	13285	15471	18324	21493	23816	100.0%

TOTAL 2014: 23 816 TWh

No âmbito das energias renováveis, é possível constatar a preponderância da energia hídrica que representa cerca 73,3% do valor total da produção de energia elétrica do elenco das renováveis.

O segundo tipo de produção de energia renovável com maior quota no valor total, refere-se às fileiras Eólica e Solar, já que representam 17,5% do valor total produzida pelas renováveis. Tal situação traduz se num crescimento bastante acentuado da eólica e solar, já que cresceram cerca de 9280% em relação a 1995 e que decorre do forte investimento que foi realizado em matéria de investigação científica e desenvolvimento tecnológico (I&DT) durante os últimos anos [9].

1.2. Enquadramento da situação energética Portuguesa

Portugal cresceu bastante ao nível da produção de energia, e passou de uma produção de 3,39 milhões de toneladas equivalentes de petróleo em 1995 para uma produção de 6,08 milhões de toneladas equivalentes de petróleo em 2014. Deste valor, cerca de 5,85 milhões de toneladas equivalentes de petróleo são oriundas das energias renováveis, o que representa cerca de 96,2% [9].

De entre o consumo total de energia também se verificou um aumento, embora não muito grande, passando de 20,64 milhões de toneladas equivalentes de petróleo em 1995 para os atuais 22,1 milhões de toneladas equivalentes de petróleo. Deste valor, é possível realçar que o setor que mais consome energia em Portugal refere-se à área dos transportes que utiliza 40% da energia consumida em Portugal [9].

Por isso, se produzimos menos energia do que aquela que necessitamos, é incontroverso afirmar que teremos de efetuar uma importação de energia de modo a suprir as nossas necessidades energéticas. Portugal, em 2014 realizou uma importação total de 16,26 milhões de toneladas equivalentes de petróleo. Neste aspeto, apresenta sinais indiciadores de uma diminuição na tendência das importações energéticas, contabilizando assim menos 9,8% das importações em relação ao ano de 1995, apresentando ainda assim uma diminuição substancial. De entre os tipos de energia mais importadas por Portugal, destaca-se o petróleo e os seus derivados que representa cerca de 66% das importações energéticas nacionais.

1.3. Metas e plano de ação Português

Devido à necessidade de cumprir as metas traçadas pelos estados membros da União Europeia, cada país tem que estabelecer um plano de ação de modo a evoluir o setor das energias renováveis. Portugal, como é um país com bastante recurso eólico, solar, entre outros, detém todas as ferramentas necessárias para o cumprimento dessas metas. Devido à necessidade de cumprir as metas propostas foram criados o PNAEE 2016 e PNAER 2020 (plano nacional de ação para a eficiência energética e plano nacional de ação para as energias renováveis, respetivamente). Os objetivos previstos pelo PNAEE e PNAER visavam [10]:

- a) Cumprir todos os compromissos assumidos por Portugal de forma economicamente mais racional;
- b) Reduzir significativamente as emissões de gases com efeito de estufa, num quadro de sustentabilidade;
- c) Reforçar a diversificação das fontes de energia primária, contribuindo para aumentar estruturalmente a segurança de abastecimento do País;
- d) Aumentar a eficiência energética da economia, em particular no setor Estado, contribuindo para a redução da despesa pública e o uso eficiente dos recursos;
- e) Contribuir para o aumento da competitividade da economia, através da redução dos consumos e custos associados ao funcionamento das empresas e à gestão da economia doméstica, libertando recursos para dinamizar a procura interna e novos investimentos.

Pretende-se assim, com a criação destes dois planos, traçar uma estratégia sustentável de eficiência energética e de exploração de energias renováveis para Portugal contribuindo para uma economia competitiva e de baixo carbono[10][11]. Podemos verificar que devido às poucas reservas conhecidas de reservas fósseis, as energias renováveis têm um peso essencial na produção de energia em Portugal. Tal situação permite, não só aumentar a sustentabilidade a nível da produção, como também do consumo de energia. Para suscitar o interesse por parte de potenciais investidores, a produção de energias renováveis é promovida com tarifas que são vantajosamente subsidiadas pelo Estado.

1.4. Enquadramento dos objetivos e estratégia nacional para as Energias renováveis

Segundo o PNAER 2020, a meta nacional para a utilização de energia proveniente de fontes renováveis no consumo final bruto de energia é de 31%. A Diretiva Energias Renováveis estipulou que o cálculo da meta global de incorporação de Fontes de Energias Renováveis (FER) fosse feito com base no consumo final bruto de energia, o que significa que ao consumo final de energia é necessário adicionar o autoconsumo das centrais elétricas e as perdas no transporte de energia. Na figura 2 são considerados dois cenários: um Cenário de Referência, que não contempla os efeitos das medidas de eficiência energética, e um Cenário de Eficiência Energética Adicional, que considera os impactos das medidas de eficiência energética previstas no PNAEE 2016 [10].

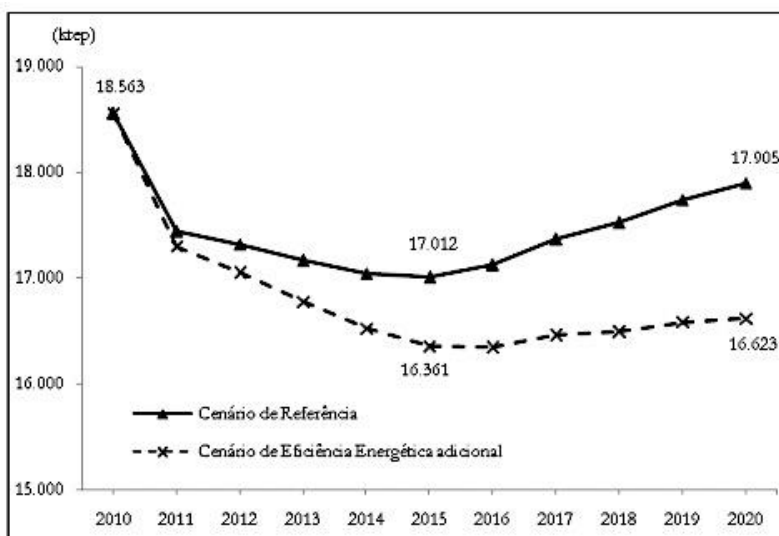


Figura 2 - Evolução prevista do consumo final bruto de energia (Ktep) [10]

Na vertente referente aos transportes, as energias renováveis terão de ter um peso de 10%. As alavancas para o cumprimento de incorporação FER passam pela promoção de veículos elétricos e pelo aumento de incorporação de biocombustíveis de 1.ª geração (ex. biodiesel - FAME e bioetanol). No setor do aquecimento a quota é de 30,6%. Para o efeito, deverá ser criado um mercado sustentado de 175000 m²/ano de área instalada para o solar térmico, e a instalação

anual de 20000 recuperadores de calor no setor residencial ao nível do aquecimento ambiente. Ao nível da eletricidade, as energias renováveis deverão ter um peso de 60% [10][12]. Para tal, foram estimadas algumas metas para cada uma das fileiras das energias renováveis, como pode ser observado nas Figuras 3 e 4.

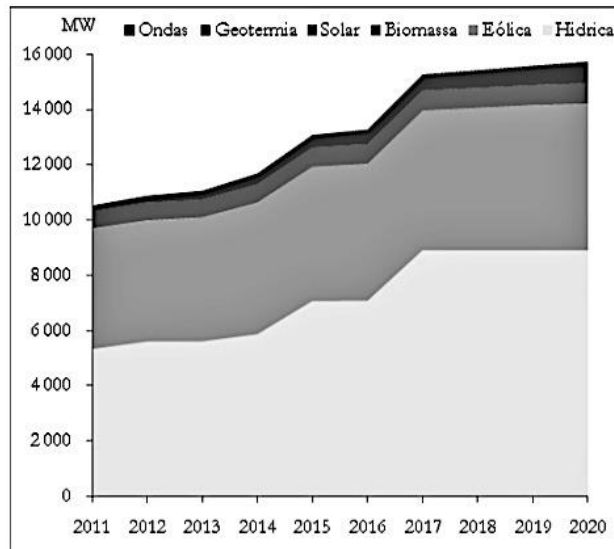


Figura 3 - Evolução estimada da capacidade instalada (metas)[10]

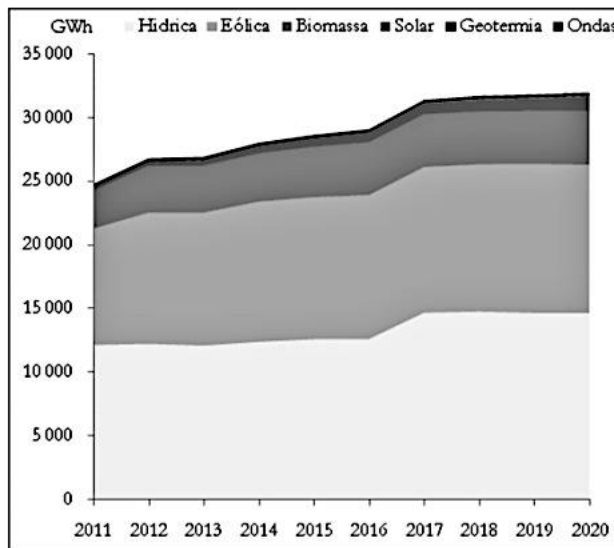


Figura 4 - Evolução estimada da produção de eletricidade (metas)[10]

2. Energia Eólica em Portugal

Em Portugal, existiu a necessidade de expandir os conhecimentos necessários à produção de energia já que os recursos de petróleo ou gás não são conhecidos e os recursos nacionais existentes são maioritariamente os do carvão e esses, estão praticamente esgotados. Neste caso, a alternativa encontrada materializou-se na promoção e nos incentivos à utilização de recursos energéticos alternativos.

Um passo enorme para a introdução deste tipo de energias em Portugal, consistiu na primeira legislação publicada que regulava a produção de energias elétricas por produtores independentes. A potência instalada em cada central teria de ser, no máximo, de 10 MW. Apesar de ter havido investimentos privados no setor das mini-hídricas e da cogeração, ao nível das eólicas apenas alguns projetos (cerca de 60) tinham sido aprovados [13].

Estes pequenos investimentos na energia eólica não significavam, no entanto, que o recurso eólico em Portugal continental fosse insuficiente. Esta forma de produção de energia encontrava-se ainda numa fase inicial, ou seja, havia ainda poucos conhecimentos científicos e tecnológicos acerca do potencial eólico, pouca experiência na aplicação/exploração destas tecnologias, e a tecnologia ainda se encontrava numa fase de desenvolvimento [13].

Hoje em dia, constata-se a ocorrência de uma situação completamente diferente, fruto de um constante desenvolvimento da tecnologia existente e de um trabalho completamente diferenciador nesse mesmo desenvolvimento. Em 2016 foi mesmo conseguido alcançar-se a meta de ser o 4º país a nível europeu com incorporava a maior percentagem de energia eólica no valor total da energia produzida no país, como se pode observar pela análise da Figura 5, sendo que essa percentagem se situa nos 20%, o que revela um importante crescimento de 17% em relação ao ano de 2005.

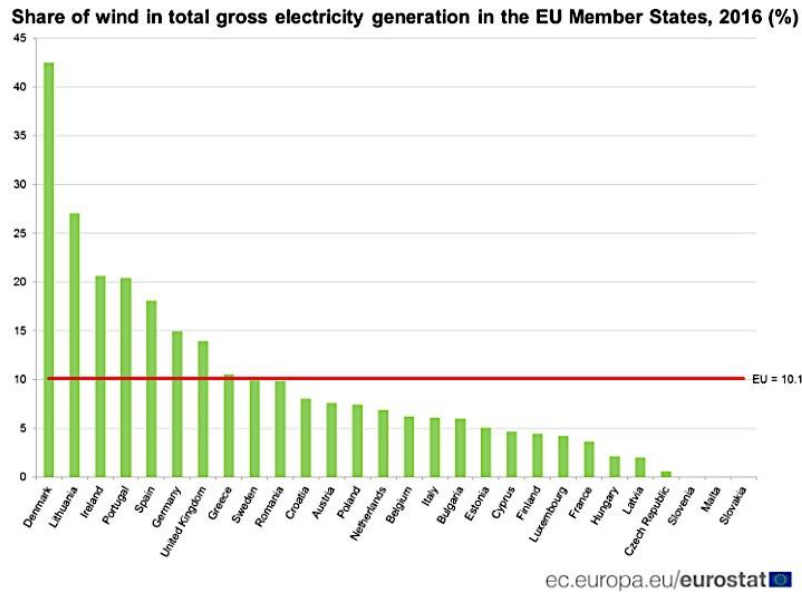


Figura 5 - Percentagem ocupada pela energia eólica no total da energia consumida por país, na União Europeia. [14]

O enorme impacto sobre o valor total da energia produzida por Portugal deve-se a vários fatores tais como:

- A reestruturação do sistema elétrico em 1995;
- A publicação de legislação que tem como fim o desenvolvimento da energia renovável e de remuneração atrativa para venda dessa mesma energia para a rede;
- A aprovação da diretiva das renováveis que fez com que fossem instalados pelo menos 2500MW de conversores eólicos até 2010;

De acordo com os dados obtidos até 2015, a capacidade eólica instalada em Portugal situava-se nos 5,0 GW, evidenciando uma clara evolução desde os 220 MW existentes em 2003 [9]. Atualmente, observa-se uma situação dinâmica no setor, que promete continuar a crescer até à meta de cerca de 7,0 GW de potencia instalada até 2020 [10].

3. Geração Eólica

A fim de melhor se compreender a geração de energia eólica, deve-se em primeiro lugar entender a mecânica de geração dos ventos e quais fatores que influenciam o seu regime. Como é do conhecimento geral, os ventos são provocados pelo aquecimento diferenciado da atmosfera. Este aquecimento, não uniforme, ocorre devido à orientação dos raios solares e, também, ao movimento constante da Terra. Deste modo, podemos deduzir que os raios solares que incidem nas regiões tropicais, como são perpendiculares à superfície, irão aquecer mais essas mesmas regiões do que as regiões polares. As massas de ar quentes que se encontram nas regiões tropicais tendem a subir, sendo que depois irão ser substituídas por massas de ar mais frias oriundas das regiões polares [15][1].

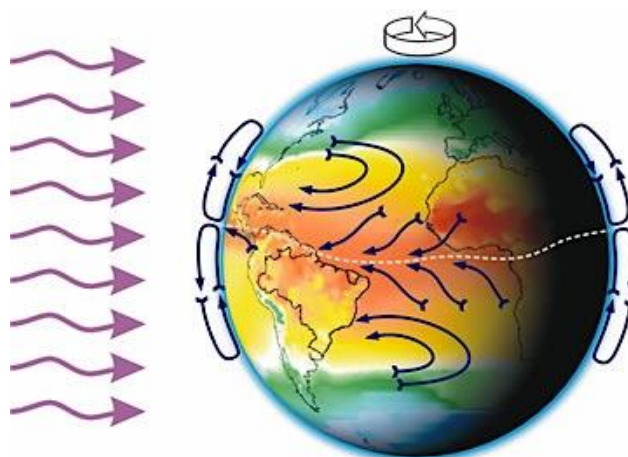


Figura 6 - Representação do mecanismo formação dos ventos [16].

O deslocamento das massas de ar representadas na Figura 6, origina a formação de vários tipos diferentes de ventos [15], entre os quais é possível realçar:

- Ventos Alísios: ventos que sopram dos trópicos para o Equador, em baixas altitudes;
- Ventos Contra-alísios: sopram do Equador para os polos, em altas altitudes;
- Ventos do Oeste: ventos que sopram dos trópicos para os polos;
- Ventos Polares: ventos frios que sopram dos polos para as zonas temperadas.

3.1. Fatores que influenciam o regime dos ventos

O comportamento estatístico do vento é um fator que é bastante influenciado pela variação das velocidades do vento ao longo do tempo. As características topográficas da região também contribuem para influenciar bastante este comportamento porque existem diferenças de velocidades para determinados locais, o que irá provocar uma aceleração ou redução da velocidade. A altitude do lugar é também um fator muito importante a ter em consideração quanto ao comportamento estatístico do vento [15][17][1].

Neste sentido, devido aos diversos fatores modificadores do comportamento do vento, existem diversos procedimentos a serem avaliados, para os locais a serem escolhidos para a instalação das turbinas eólicas. Entre os principais, destacam-se:

- A variação da velocidade do vento com a altitude;
- A rugosidade do terreno, que é caracterizada pela vegetação, utilização da terra em questão e também construções diversas;
- A presença de obstáculos nas redondezas do local escolhido;
- O relevo que poderá causar um efeito de aceleração ou desaceleração no escoamento do ar;

Através da observação da Figura 7, é possível constatar que a intensidade do vento varia consoante a situação topográfica existente.

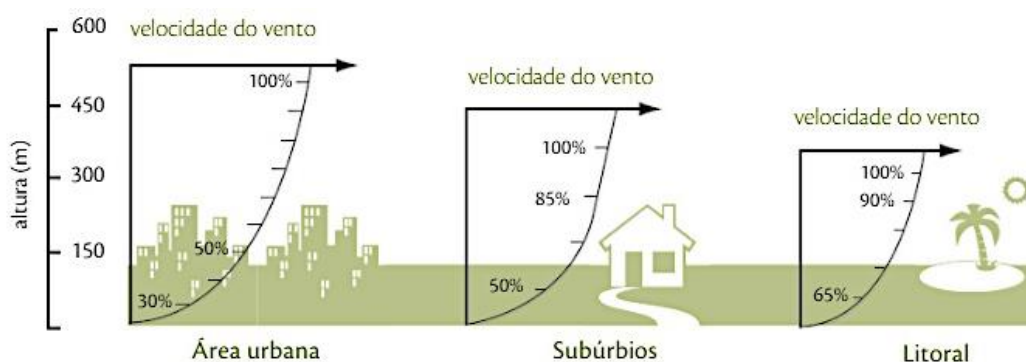


Figura 7 – Variação do Vento com a altura, em 3 cenários diferentes. [1]

Em áreas urbanas, devido à enorme afluência de edifícios, a velocidade do vento só atingirá a sua intensidade máxima para alturas superiores a 525m (em média). Por outro lado, nos

subúrbios, devido à sua menor ocupação em termos de habitações, irão funcionar como um obstáculo menor à movimentação de massas de ar o que vai permitir com que o vento já atinja velocidades máximas a alturas mais baixas (média de 450 m) [1].

De modo a se obter as informações necessárias ao levantamento das condições da região, deve-se consultar um mapa topográfico ou de uma visita ao local a estudar [15].

3.2. Velocidades do vento e suas caracterizações

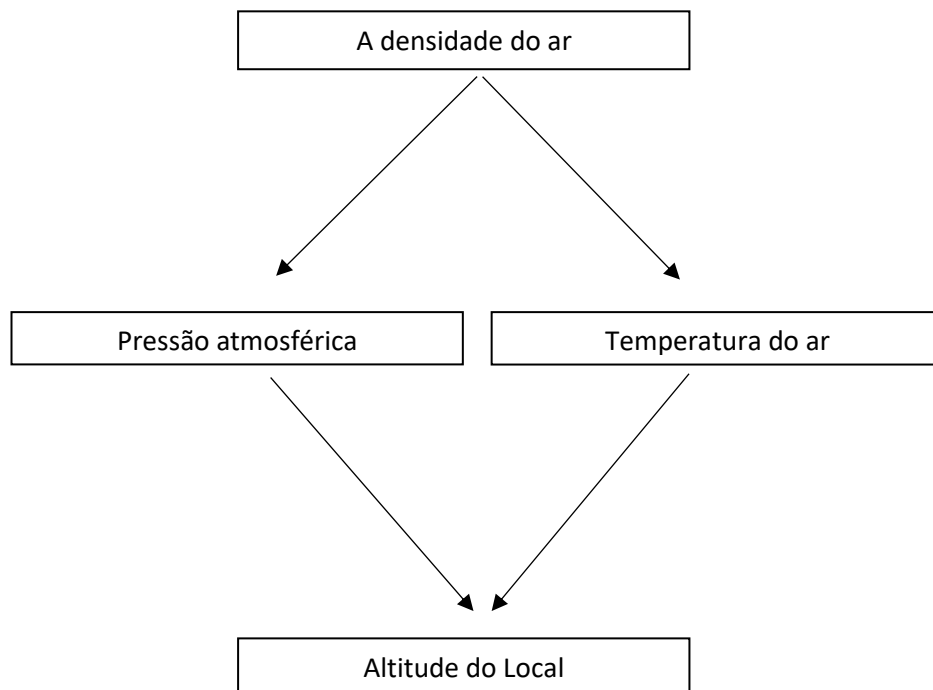
O vento, pode variar consoante as várias estações, dias ou até mesmo horas. Essas variações vão-se exprimir sobre a forma da sua velocidade. A Tabela 6 mostra quais as diferentes denominações existentes para cada tipo de vento consoante a sua velocidade.

Tabela 6 - classificação do vento consoante a sua velocidade. [1]

Escala	Denominação	Velocidade em m/s	Avaliação do vento em terra
0	Calmo	0 a 0,4 1,44 Km/h	Não se nota nenhum movimento nos galhos das árvores.
1	Quase calmo	0,5 a 1,5 1.8-5.4 Km/h	A direção da fumaça sofre um pequeno desvio.
2	Brisa leve	1,6 a 3,4 6-12 Km/h	As folhas são levemente agitadas.
3	Vento fresco	3,5 a 5,5 13-20 Km/h	As folhas ficam em agitação contínua.
4	Vento moderado	5,6 a 8 20.6-29 Km/h	Poeira e pedaços de madeira são levantados.
5	Vento regular	8,1 a 10,9 29-39 Km/h	As árvores pequenas começam oscilar.
6	Vento meio forte	11,4 a 13,9 41-50 Km/h	Galhos maiores ficam agitados.
7	Vento forte	14,1 a 16,9 50-60 Km/h	Torna-se difícil andar contra o vento.
8	Vento muito forte	17,4 a 20,4 61-73 Km/h	Fica impossível andar contra o vento.
9	Ventania	20,5 a 23,9 74-86 Km/h	Telhas podem ser arrancadas.
10	Vendaval	24,4 a 28 88-100 Km/h	Árvores são derrubadas.
12	Furacão	83,0 a 125 298-450 Km/h	Produzem efeitos devastadores.

3.3. A energia contida no vento: densidade do ar e área do rotor

A energia motriz de um aerogerador advém da sua capacidade em converter a força exercida pelo vento num momento de força que atua sobre as pás da turbina (lâminas). A quantidade de energia que o vento transmite em cada segundo para o rotor depende diretamente de 3 fatores: a densidade do ar, a velocidade do ar e a área rotor [15]. Como a energia cinética de um corpo depende diretamente da sua massa, a energia do vento deverá depender diretamente da densidade do ar (massa por unidade de volume). Deste modo, quanto mais “pesado” (denso) for o ar, maior será a energia cinética recebida pela turbina eólica.



Através do esquema anteriormente representado podemos aferir que a densidade do ar está diretamente associada à pressão atmosférica e à temperatura do ar, que por sua vez dependem da altitude do local. Com efeito, para locais que estejam situados a grandes altitudes, a pressão

atmosférica será menor e conseqüentemente a densidade do ar deverá decrescer. Podemos então finalizar afirmando que a altitude do lugar é um parâmetro crucial no estudo das eólicas.

3.4. Variação da pressão atmosférica com a altitude

Como é sabido, existem variações de pressão à medida que vá subindo ou descendo ao longo das várias camadas da atmosfera terrestre. À medida que a altitude vai aumentando a pressão irá diminuir, e, inversamente, quando a altitude aumentar a pressão e a densidade do ar irão ser maiores [15]. Deste modo, é possível exprimir a pressão atmosférica em função da altitude através da seguinte equação

$$p = p_0 \left(1 - \frac{Lh}{T_0} \right)^{\frac{gM}{RL}} \quad \text{Equação 1}$$

onde p_0 representa a pressão atmosférica padrão ao nível do mar (101325 Pa), T_0 é temperatura atmosférica padrão ao nível do mar (288,15 K), g é aceleração da gravidade $9,81 \text{ m/s}^2$, L é taxa de gradiente adiabático (0,0065 K/m), R corresponde à constante dos gases ideais ($8,31447 \text{ J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$) e M é a massa molar do ar seco (28,964 g/mol).

A Figura 8 representa graficamente a variação da pressão da atmosfera com a altitude, considerada acima do nível do mar.

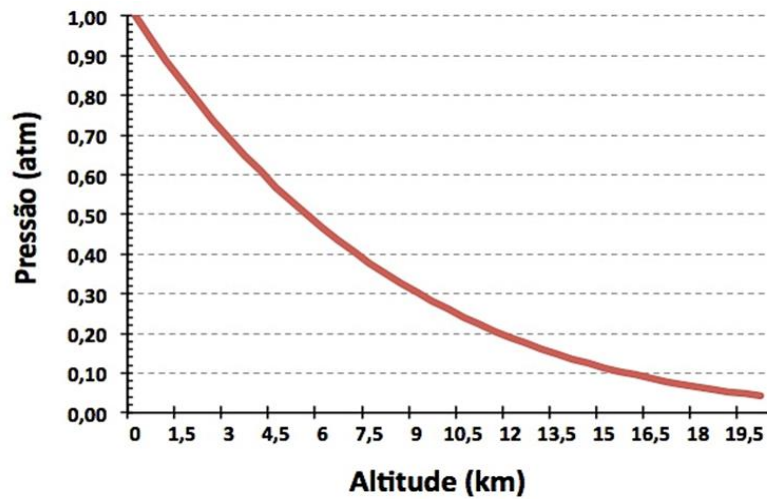


Figura 8 - Variação da pressão atmosférica (atm) com a altitude (km) [15]

3.5. Variação da temperatura atmosférica com a altitude

Atendendo a que a temperatura também representa uma das grandezas que sofre profundas variações com a altitude, é também importante apresentar uma expressão que relacione esta grandeza com a altitude do lugar.

$$T = T_0 - Lh \quad \Rightarrow \quad T = 288,15 - 0,0065h \quad \text{Equação 2}$$

Nesta expressão, T é expressa em °C, L é taxa de gradiente adiabático e h corresponde à altitude (expressa em quilómetros) acima do nível do mar. Importa realçar que esta expressão apenas é valida dentro da troposfera (altitude de 20 quilómetros). A Figura 9 representa graficamente a evolução da temperatura com a altitude.

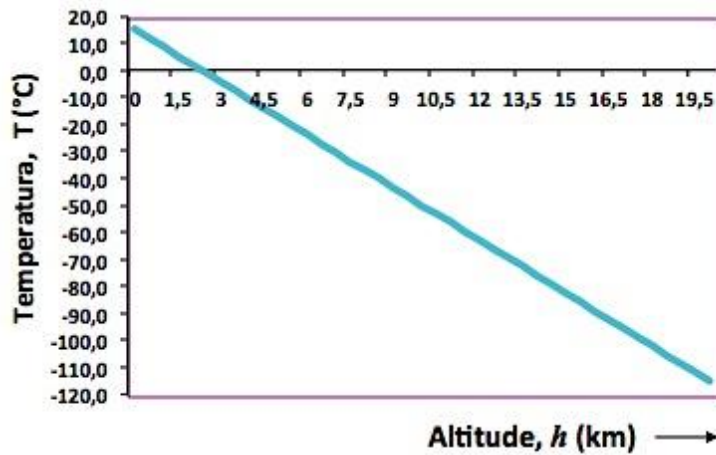


Figura 9 - Variação da temperatura (°C) em função da altura(km) [15]

Como se pode constatar, a temperatura diminui linearmente com a altitude do lugar.

3.6. Variação da densidade com a altitude

No âmbito do estudo dos sistemas eólicos é importante exprimir a densidade do ar em função da pressão atmosférica e da temperatura do local através da seguinte expressão:

$$\rho = \frac{pM}{RT} \rightarrow \rho = 3,484 \times 10^{-3} \left(\frac{p}{T}\right) \quad \text{Equação 3}$$

onde ρ , expresso em kg/m^3 , é a densidade do ar (à altitude h) e T é a temperatura do local. A Figura 10 representa graficamente a evolução da densidade do ar com a altitude.

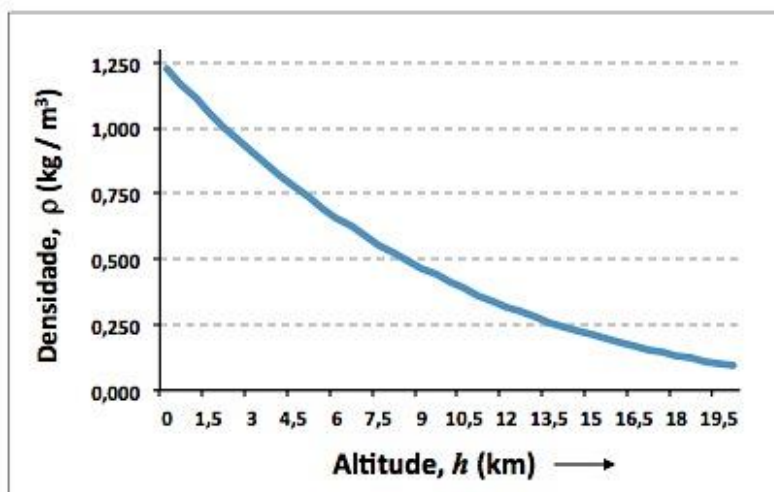


Figura 10 - variação da densidade(Kg/m3) em função da altitude(km) [15].

4. Tecnologia eólica

4.1. Componentes da turbina

Um aerogerador é composto pela associação de um conjunto muito extenso de diversos materiais e componentes que são montados em cima de uma torre vertical, conforme esquematicamente representado na Figura 11[18].

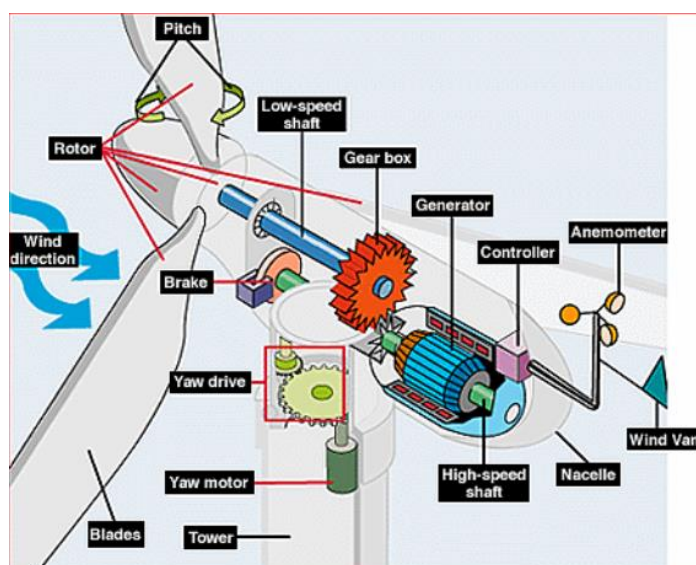


Figura 11 - Principais componentes de uma turbina Eólica. [19]

Os principais componentes que integram um aerogerador são sucintamente descritos em seguida [15], [18], [19]:

- Anemómetro - responsável por medir a velocidade do vento e transmitir esses dados para um controlador;
- Pás – dependendo do tipo de turbina podem ser encontradas em conjunto de duas, três ou 4 pás. São responsáveis por receber a força do vento e por consequência transferi-la ao rotor. Em turbinas de 1MW cada pá mede cerca de 27 metros;
- Travão aerodinâmico – utilizado para travar a rotação da turbina quando as situações são consideradas adversas;
- Controlador eletrónico – contém um computador que vai monitorizar continuamente o estudo da turbina eólica e controlar o seu mecanismo de guinada. Em caso de avaria, é o responsável por desligar automaticamente a turbina;
- Caixa de velocidades – responsável por conectar os eixos, o de baixa velocidade e o de alta velocidade. Vai também multiplicar as velocidades de rotação do eixo de alta velocidade em aproximadamente 50 vezes. Como são partes dispendiosas e pesadas da turbina, existem atualmente aerogeradores dimensionados para velocidades mais baixas o que permite assim retirar a caixa de velocidades. Pode também não existir consoante o tipo de aerogerador escolhido;
- Gerador eléctrico – normalmente é um gerador de indução. Numa turbina moderna de pequena/média dimensão, a potência eléctrica varia normalmente entre 0,3 e 0,6 MW;
- Eixo de alta velocidade – roda a aproximadamente a 1500 rpm e permite acionar o gerador eléctrico. É equipado com um disco mecânico para travagem de emergência que apenas é utilizado no caso de falha do travão aerodinâmico;
- Eixo de baixa velocidade – o rotor vai colocar este eixo a girar a cerca de 30 a 60 rotações por minuto;
- Nacelle – situa-se no topo da torre e contém a caixa de velocidades, os eixos de alta e baixa intensidade, o gerador, o controlador e o travão. A sua função é agregar e proteger todos estes componentes mencionados. Os técnicos da manutenção podem entrar na nacelle a partir da torre da turbina;

- Pitch/Passo - Utilizado para limitar a potência de saída para valores de velocidade do vento elevados. Ele gira as pás de modo a controlar a velocidade do rotor e evitar que ele gire para situações caracterizadas por intensidades de ventos muito altos ou muito baixos.
- Rotor – as pás e o cubo (que liga as pás ao eixo de baixa velocidade) da torre são denominados por rotor;
- Torre – Suporta o nacelle e o rotor. Podem ser constituídas por aço tubular ou por betão armado. As maiores permitem que as turbinas captem mais energia e, por isso, produzem mais eletricidade. Uma turbina moderna de 1MW tem uma torre com uma altura aproximadamente de 50 a 80 metros;
- Medidor da direção do vento – mede a direção do vento e comunica ao mecanismo de orientação direcional;
- Mecanismo de orientação direcional - é utilizado para manter o rotor virado para o vento à medida que a direção do vento muda, nos mecanismos upwind. Nos mecanismos downwind este mecanismo não é necessário.
- Unidade de arrefecimento – contem um ventilador que é usado para arrefecer o gerador elétrico. Contém também uma unidade de arrefecimento do óleo que é usado na caixa de velocidades. Algumas turbinas têm também geradores arrefecidos a água.

4.2. Identificação de potenciais locais de instalação

A presença das turbinas eólicas em locais que tenham ventos fortes e persistentes é um fator determinante para que se obtenha sucesso na utilização destas instalações eólicas [17]. Os ventos fortes mencionados terão de estar compreendidos numa gama de velocidades ótima para que a turbina não se auto-desligue, pois para velocidades muito superiores às “normais” existe um mecanismo de paragem para que seja mantida a segurança da turbina e da área circundante [20], [21], [22].

Existem certas regras que damos por adquiridas quando queremos executar uma instalação eólica que deve estar nos topos da montanha pois são locais onde existe uma enorme

abundância de vento; os planaltos e planícies que estão elevados podem, também, ser locais bastante ventosos. Por outro lado, devem-se evitar os vales pois normalmente são locais com menos vento, embora, por vezes, possam existir exceções [23].

Os locais potencialmente mais interessantes para uma instalação destes sistemas, devem ser identificados por mapas adequados (consultando os denominados atlas de vento), e a sua escolha deverá ser complementada com visitas físicas a esses mesmos locais potencialmente mais “atrativos” à utilização da energia eólica. Uma caracterização detalhada do local recorrendo a dados obtidos através de medições no local é considerada indispensável [13], [15]. A Figura 12 refere-se ao atlas Ibérico do vento.

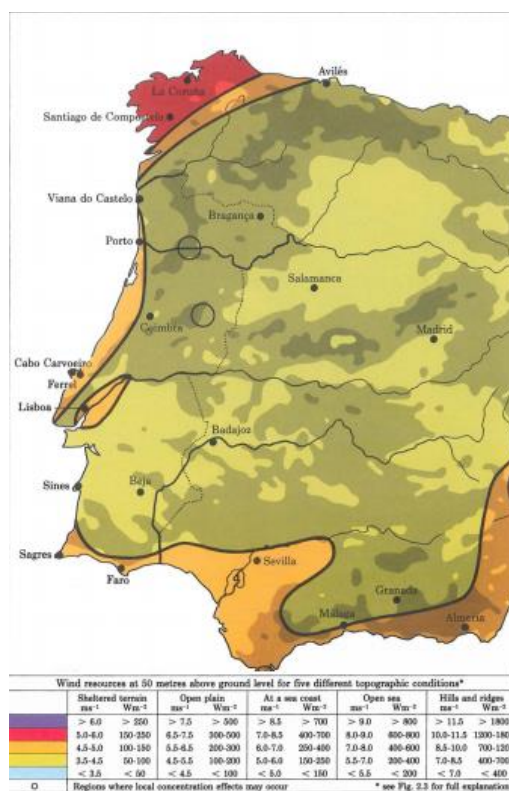


Figura 12 - Atlas ibérico do vento [24]

A observação da figura permite claramente identificar os locais potencialmente mais promissores para a instalação de sistemas eólicos em Portugal. A cor roxa realça os locais com um potencial eólico maior, enquanto a cor azul clara identifica os locais com menor potencial eólico. Como se constata, Portugal é um país que apresenta um potencial eólico bastante interessante,

principalmente nas zonas costeiras. A figura 13 mostra os países que apresentam os melhores valores de velocidade do vento para a instalação de sistemas eólicos.

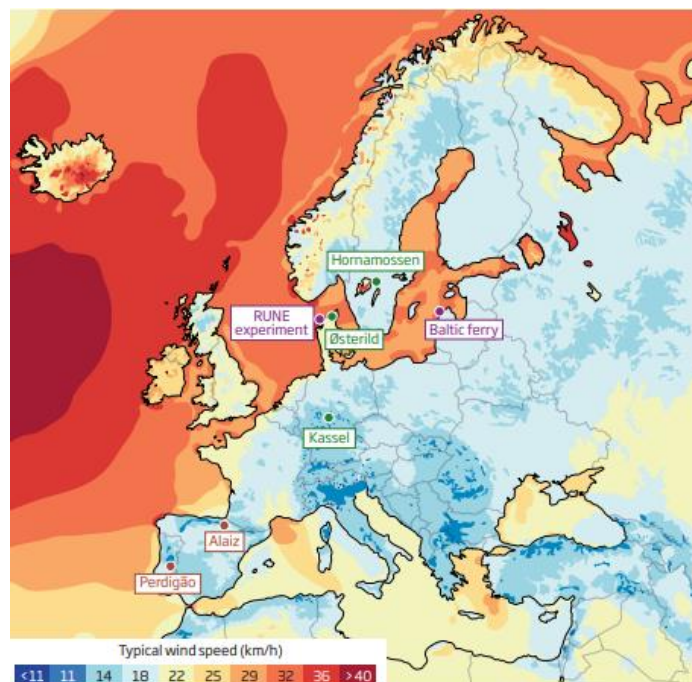


Figura 13- Valores de velocidade típica do vento, na Europa (Km/h).[25]

Para além da informação referente à velocidade do vento, deve-se também ter em atenção os impactos visuais [1], [13]. Ou seja, o projeto tem de ser bem enquadrado na paisagem e desenvolvido em colaboração com as câmaras municipais e com as comunidades locais de modo a se obter a sua aprovação. Existem entidades coletivas ou individuais que consideram que este tipo de projetos são intrusivos, mas existe também quem considere que se integram adequadamente na envolvente paisagística [26],[27]. Estas diferentes correntes de opinião são bastante importantes para este tipo de projetos, e por isso necessitam ser desenvolvidos em colaboração com as comunidades locais [13], [28].

4.3. Medição da velocidade do vento

De modo a escolher o melhor local para se instalar uma turbina eólica ou um parque eólico devem ser efetuadas medições ao perfil dos ventos do local para aferir se esse local é, ou não, viável para uma instalação eólica [13]. A medida da velocidade do vento é normalmente feita por um anemómetro. O anemómetro normalmente possui um eixo vertical de rotação e pode ter vários copos para capturar o vento. Na prática, a velocidade do vento é calculada a partir da velocidade angular de rotação [1]

$$v = \omega r \quad \text{Equação 4}$$

onde ω é velocidade angular de rotação e r representa o raio do anemómetro.

A maneira mais fácil de se medir a velocidade do vento é colocar um anemómetro em vários pontos da zona envolvente do local onde se quer colocar a turbina, a uma altura H_a , altura do anemómetro, que seja igual à altura da turbina, H [13], [15]. Os sinais são recolhidos por sistemas de aquisição de dados e devidamente armazenados. O sistema de aquisição de dados deve também ter um bom isolamento porque sendo habitual ficar instalado ao ar livre, é importante protegê-lo da chuva e das condições ambientais adversas que se façam sentir em locais onde existem ótimas condições de vento. A fim de diminuir o risco financeiro duma instalação deste tipo, deve-se sempre cumprir o período de um ano relativo às medições da velocidade do vento [1].

4.4. Tipo de Turbinas

Desde a introdução desta nova forma de produzir energia, que houve uma evolução em termos de modelos de turbinas na medida em que estas foram evoluindo cada vez mais até aos dias de hoje.

Na verdade, a energia eólica já vem sendo usada desde o tempo dos persas [29], momento em que os primeiros moinhos de vento foram introduzidos na sociedade. Os moinhos de vento existentes tinham um eixo vertical, e como tal são conhecidos como VAWT's. Mais tarde, durante

a idade Média, foram introduzidas as turbinas com eixo horizontal (HAWT's) para fins mecânicos como por exemplo para efetuar o bombeamento de águas [30]. Mais tarde, foram então desenvolvidas outros tipos de turbinas sendo que a desenvolvida por Marcellus Jacobs foi bastante importante para a geração de eletricidade pois tinha 3 pás, uma bateria de armazenamento e um cata-vento que mantinha a turbina direcionada para o vento [30]. Os dois tipos de turbinas foram evoluindo até aos dias de hoje, apesar de as turbinas com eixo vertical suscitarem menos interesse e conseqüentemente menos apoio financeiro [29], [30]. Os modelos mais desenvolvidos das VAWT's até hoje são os modelos Darrieus e H-Rotor, enquanto que as turbinas de eixo horizontal têm nas turbinas modernas (turbinas mais vulgarmente encontradas) os seus modelos mais recentes. Na figura 14, podem-se observar os 3 tipos de aerogeradores mencionados anteriormente.

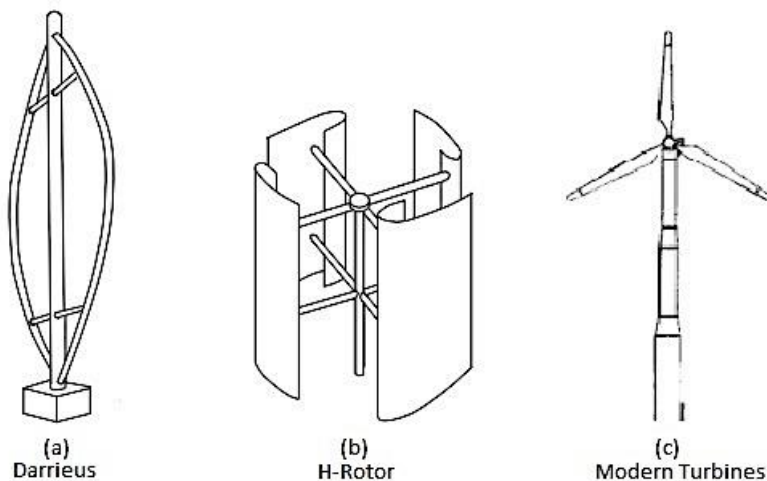


Figura 14 -Três tipos de turbinas falados anteriormente. Adaptado de [2], [31]

Todos os tipos de turbinas enunciadas anteriormente são diferentes, e dependendo do perfil do local e das características do vento, pode-se escolher qualquer uma delas. Através da consulta à Tabela 7 podemos verificar a diferença entre estes 3 tipos de turbinas.

Tabela 7-principais diferenças entre 3 tipos de turbinas eólicas. (Adaptado de [30])

	H-Rotor	Darrieus	HAWT
Perfil das Lâminas	simples	complexo	complexo
Mecanismo de	Não	Não	Sim

orientação direcional			
Torre	Sim	Não	Sim
Barulho	Baixo	Moderado	Alto
Área da lâmina	Moderado	Larga	Baixa
Posição do gerador	No chão	No chão	No topo da Torre
Carga da Lâmina	Moderada	Baixa	Alta
Auto Recomeço	Não	Não	Sim
Estabelecimento	Moderado	simples	extensivo
Estrutura geral	Simples	Simples	Complexo

4.5. Dimensão das turbinas

Existem vários tipos de turbinas, umas com maior e outras de menor porte. Há situações onde umas são mais adequadas do que outras, logo, a sua seleção ficará dependente da finalidade a que se propõem, da situação financeira dos investidores e dos espaços circundantes. A Figura 15 refere-se a uma representação esquemática da evolução ao longo dos últimos anos entre a dimensão geométrica das turbinas e a correspondente potência nominal.

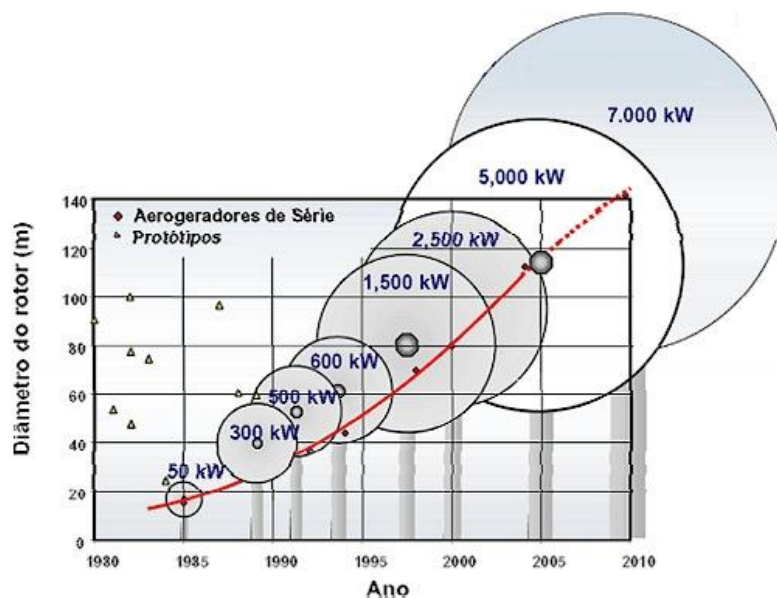


Figura 15 - Evolução das turbinas com o decorrer dos anos [32]

Antigamente as turbinas eram mais pequenas e com menor capacidade. Tal situação deveu-se sobretudo ao insipiente estágio de desenvolvimento destas tecnologias. Atualmente, a seleção da dimensão das turbinas eólicas deve ter em atenção alguns pontos principais [15]

Razões para a seleção de turbinas de grande porte:

- Máquinas de grande porte irão gerar mais energia a um custo menor. Isto ocorre porque a maior parte das vezes, as ligações à rede elétrica e número de componentes da turbina não dependem do tamanho da turbina;
- As turbinas de grande porte são mais adequadas para aplicações off-shore. Os custos das fundações e os custos de manutenções são independentes do tamanho da turbina;
- É mais fácil colocar uma turbina com maior altura, do que colocar mais do que uma em áreas onde há poucos locais com características ideais para essa instalação.

Razões para a seleção de turbinas de pequeno porte:

- Em áreas onde há pouca densidade populacional, as redes locais podem ser fracas para acomodar turbinas de grande porte. Normalmente isto acontece em áreas remotas e onde o consumo elétrico é menor;
- O custo de construção de estradas reforçadas para carregar os componentes das turbinas faz com que, em certas áreas seja cada vez mais económico as turbinas mais pequenas;
- Diversas máquinas com um porte mais pequeno fazem com que existam menos riscos de falhas temporárias na produção de energia;
- Diversas considerações estéticas também têm influência na escolha de turbinas mais pequenas.

4.6. Conversão da energia contida no vento em energia mecânica

A energia que está disponível para ser transformada em energia mecânica, é aquela que está associada à coluna de ar que se vai dirigir contra as pás da turbina eólica [13][33]. A avaliação

da velocidade do vento é crucial para se determinar a quantidade de energia que uma turbina irá conseguir converter em energia elétrica. A energia cinética contida no vento, isto é, o recurso eólico disponível, é avaliado através da seguinte equação

$$E = \frac{1}{2}mv_1^2 \quad \text{Equação 5}$$

onde E é a energia cinética do vento, m corresponde à massa da coluna do ar e v_1 representa a velocidade do vento que colide com as pás do aerogerador. Atendendo a que a potência corresponde à capacidade de se realizar trabalho (energia) por unidade de tempo, a potência contida no vento é expressa da seguinte maneira

$$P_{eol} = \frac{E}{t} = \frac{1}{2}\dot{m}v_1^2 \quad \text{Equação 6}$$

onde P_{eol} é a potência contida no vento, t é o tempo, \dot{m} corresponde à taxa de variação da massa com o tempo (também denominado por caudal mássico). A Figura 16 mostra esquematicamente o escoamento de uma massa de ar ao longo de um tubo de comprimento L e área de secção transversal A (ou seja, a área de varrimento das pás do aerogerador).

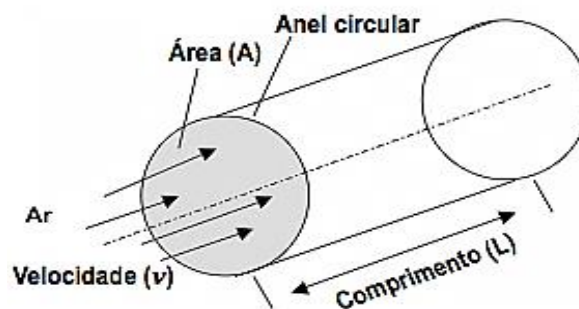


Figura 16 – Fluxo de ar através de uma área transversal A [15].

Atendendo a que a taxa de variação da massa com o tempo é dada pelo produto da densidade do ar pela área de varrimento das pás do rotor e pela velocidade do vento, pode-se escrever a seguinte equação:

$$P_{eol} = \frac{1}{2} \rho A v_1^3 \quad \text{Equação 7}$$

Contudo, quando se trata de um aerogerador, a potência que é extraída do vento nas pás do rotor irá corresponder à diferença entre a potencia que está contida no vento que chega a partir da parte da frente da turbina e a potencia que irá estar contida no vento no momento em que abandona a turbina (naturalmente irá sair com menor velocidade), tal como esquematicamente representado na Figura 17

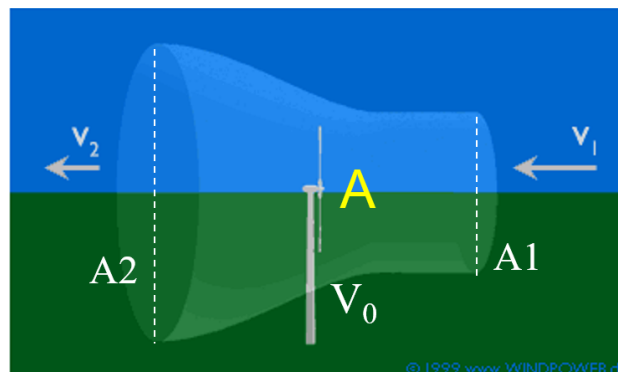


Figura 17 - Lei da continuidade de caudal mássico [15]

Através da lei da continuidade do caudal mássico, sabemos que a quantidade de ar por segundo que chega às pás da turbina terá de ser igual à massa de ar por segundo que sairá da turbina [34], ou seja

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2 = \dot{m} \quad \text{Equação 8}$$

em que ρ representa a densidade do ar, A é a área ocupada pelo ar, e v_1 e v_2 são as velocidades do vento à entrada e saída da turbina, respectivamente. Assim sendo, a maneira pela qual se pode calcular a potência mecânica, P_m , extraída pelo rotor pode ser expressa através da seguinte equação:

$$P_m = \frac{1}{2} \dot{m} (v_1^2 - v_2^2) \quad \text{Equação 9}$$

ou seja, a potência extraída do vento nas pás do rotor corresponde à diferença entre a a potência contida no vento que chega pela parte frontal da turbina, e a potência contida no vento que deixa a turbina (vento que sai com menor velocidade). Através desta equação, é possível calcular-se o denominado coeficiente de potência, C_p (eficiência mecânica), que caracteriza o nível de rendimento de uma turbina eólica, e que é uma grandeza adimensional e cujo seu máximo valor teórico (conhecido por denominado por eficiência de Betz) é de 16/27, ou seja, aproximadamente 59%.

$$C_p = \frac{P_m}{\frac{1}{2} \rho A v_1^3} \quad \text{Equação 10}$$

Em situações reais os coeficientes de potencia serão sempre ser inferiores a 59% obtidos [15], pois eles irão ser dependentes de vários fatores como o perfil aerodinâmico das pás, do numero de pás entre outros aspetos diretamente relacionados com o projeto do rotor. Este coeficiente não é constante e vai depender sempre da razão entre as velocidades do vento à entrada e saída da turbina [13], [15], conforme a seguinte equação:

$$C_p = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{v_2}{v_1} \right) \left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] \quad \text{Equação 11}$$

O vento logo após passar pela turbina (ver figura17), vai criar um vórtice[13], [15],[22]. Este é um comportamento associado à perda de velocidade na ponta das pás e é caracterizado como uma turbulência que faz com que a velocidade num ponto a jusante da turbina seja menor e “ocupe” uma área maior [15]. Por este mesmo motivo, quando se observa um parque eólico, as turbinas estão todas devidamente espaçadas para que se garanta uma produção de energia máxima e que não seja prejudicada pelos vórtices criados [1], [13], [15]. As turbinas deverão estar espaçadas por distancias de 8 a 10 vezes o diâmetro das pás do aerogerador para aqueles que estão posicionados segundo direções paralelas à direção do vento incidente e de distancias entre 1,5 a 5 vezes o diâmetro das pás para os aerogeradores estão posicionados em direções perpendiculares à direção do vento incidente [1][33].

4.7. Análise dos resultados para uma turbina eólica

4.7.1. Curva de potência

A curva de potência de um aerogerador consiste na representação gráfica da potência mecânica (P_m) que irá ser fornecida pela turbina (quantidade de energia por segundo) em função da velocidade do vento incidente. As curvas de potencia são já fornecidas pelos fabricantes de cada turbina [15]. Conhecendo-se a curva de potência é possível estimar a produção de energia elétrica fornecida pela turbina eólica considerada. Na prática, o procedimento de elaborar a curva de potência consiste em sujeitar a turbina à ação do vento incidente de diferentes velocidades [31]. Para cada velocidade, terá de ser medida a diferença de potencial e a intensidade da corrente elétrica que vai atravessar uma carga externa (ex. uma resistência elétrica) que estará ligada eletricamente à turbina. A potência da turbina é igual ao produto entre a diferença de potencial pela intensidade da corrente elétrica.

$$P_m = U \times I \quad \text{Equação 12}$$

A Figura 18 refere-se à representação de uma curva de potência típica de um aerogerador.

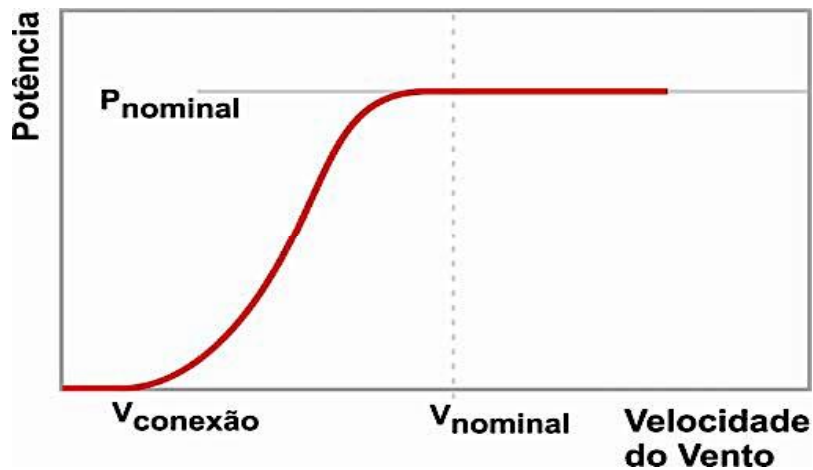


Figura 18 - Forma típica de uma curva de potência de uma turbina [15]

A velocidade de conexão (arranque) corresponde à velocidade do vento incidente em que o aerogerador começa a produzir energia elétrica. A velocidade nominal será aquela a partir do qual a turbina vai atingir a sua potência nominal. Isto normalmente quer dizer que é a sua potencia máxima teórica [17]. Normalmente, na literatura técnica também é muitas vezes referido a designada velocidade cut-out, que não está representada na Figura 18, mas que corresponde à velocidade em que o aerogerador é desligado para manter as cargas ou para manter a integridade física da máquina e dos seus componentes.

4.7.2. Distribuição de Weibull

A descrição da variação da velocidade do vento é um aspeto crucial para todos os que estão diretamente ligados à indústria das tecnologias eólicas. Para que as turbinas sejam totalmente otimizadas e os custos reduzidos ao máximo, esta informação é importantíssima.

Se ao longo de um determinado tempo fizermos as medidas da velocidade do vento vamos perceber que para a maioria dos locais é difícil encontrar a ocorrência de ventos muito fortes. Provavelmente também observaremos que os ventos moderados são os que terão maior probabilidade de serem registados. Para cada local, a descrição da variação da velocidade do vento é normalmente efetuada de forma estatística através da denominada distribuição de

Weibull [1], [15], [35], [36]. A Figura 19 refere-se a um exemplo típico da densidade de probabilidade de Weibull onde se destacam os valores das velocidades máxima e média.

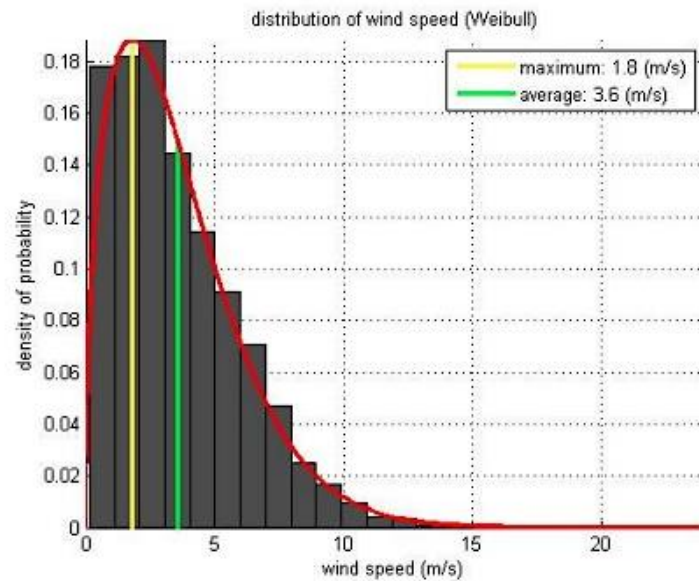


Figura 19 - Distribuição de weibull na região de Aveiro [35]

A função de densidade de probabilidade de Weibull corresponde à probabilidade de ao longo do ano ocorrer uma velocidade de vento com uma determinada intensidade. Esta função é calculada através da seguinte equação:

$$\rho(v) = \left(\frac{k}{c}\right) \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad \text{Equação 13}$$

Em que $\rho(v)$ representa a probabilidade de ocorrer uma determinada velocidade do vento e k é o designado fator de forma. Esta expressão apenas é válida quando o fator de forma é superior a 1, a velocidade do vento igual ou superior a zero e C , o denominado parâmetro de escala, deve ser maior do que zero. O fator de forma normalmente selecionado situa-se num intervalo entre 1 e 3, sendo que o valor 2 é o mais utilizado. Para uma dada velocidade do vento, um fator de forma pequeno indica uma distribuição relativamente larga das velocidades do vento em torno da velocidade média, enquanto que um fator de forma elevado indica o contrário. O parâmetro de escala, C , é calculado através do quociente entre a velocidade média do vento medida à altura de um anemómetro com altura igual à altura do rotor.

$$C = \frac{\bar{v}}{\Gamma(1 + \frac{1}{k})} \quad \text{Equação 14}$$

Por outro lado, Γ representa a função gamma que é calculada conforme a seguinte expressão [15]

$$\Gamma(x) = \int_0^1 \left[\ln\left(\frac{1}{t}\right) \right]^{x-1} dt \quad \text{Equação 15}$$

onde neste caso $x = (1+1/k)$.

4.7.3. Função distribuição de potência

Se multiplicarmos a potência mecânica da turbina, P_m correspondente a cada velocidade do vento, pela probabilidade da ocorrência dessa mesma velocidade, estaremos a obter a denominada curva de distribuição de potência da turbina (DP) a diferentes velocidades.

4.7.4. Energia bruta produzida

A curva de distribuição de potencia da turbina a velocidades diferentes, é obtida através da multiplicação da potencia da turbina pela densidade de probabilidade de Weibull [15] correspondente às diferentes velocidades do vento. O valor total é obtido através da seguinte equação:

$$DP = \sum_{v=0}^{25} P_m(v) \rho(v) \quad \text{Equação 16}$$

onde $P_m(v)$ é potência mecânica da turbina avaliada a uma determinada velocidade do vento e $\rho(v)$ é função densidade de probabilidade de weibull correspondente a essa velocidade do vento.

Para obtermos a curva de energia bruta, E_B produzida pelo aerogerador ao final de 1 ano de funcionamento, teremos de realizar a multiplicação da distribuição de potência da turbina pelo número total de horas existentes num ano (8760 horas). O número adotado abrange todas as horas, ou seja, admite-se para este caso que a turbina opera sem interrupções e sem qualquer tipo de perdas, que seria uma situação ideal [15].

$$E_B = 8760 \sum_{v=0}^{25} P_m(v) \rho(v) \quad \text{Equação 17}$$

4.7.5. Energia bruta corrigida

A fim de se contemplar o efeito da pressão atmosférica e da temperatura do ar onde se localiza a turbina eólica, o valor da energia bruta deve ser corrigido através da multiplicação de coeficientes de ajuste. Deste modo, a energia bruta corrigida $E_{B,C}$ (Wh/ano) tomando em consideração o efeito da pressão e temperatura, é obtida através da seguinte expressão [15]:

$$E_{B,C} = E_B \times C_{pr} \times C_T \quad \text{Equação 18}$$

em que C_{pr} é o coeficiente de ajuste de pressão e C_T é o coeficiente de ajuste de temperatura, obtidos através das seguintes expressões:

$$C_{pr} = \frac{p}{p_0} \quad \text{Equação 19}$$

$$C_T = \frac{T_0}{T} \quad \text{Equação 20}$$

onde p corresponde à pressão atmosférica média anual do local onde está instalada a turbina eólica e p_0 é a pressão atmosférica padrão. Por outro lado, T_0 corresponde à temperatura absoluta padrão ao nível do mar e T representa a temperatura absoluta média anual no local em consideração.

5. Construção do kit eólico para o ensino secundário

A seleção do tema referente ao desenvolvimento da presente dissertação de mestrado advém de uma conversa com o professor Joaquim Carneiro, onde esta temática acolhida com bastante motivação e ambição por dois colegas de mestrado, nomeadamente eu próprio e o meu colega João Costeira. O desígnio consistiu em avaliar se era possível realizar algo que nos obrigasse a aplicar os conhecimentos até ali obtidos, mas que também forçasse à procura de outro tipo de conhecimentos (nomeadamente nas áreas comerciais e de empreendedorismo académico). O objetivo principal passou pela criação de uma empresa spin-off da Universidade do Minho que tenha como principal atividade o desenvolvimento de equipamentos dedicados às energias renováveis e a brinquedos CTEM.

Na presente época, cada vez mais a ciência ocupa um papel fundamental para o desenvolvimento da sociedade e das tecnologias existentes. Apesar disso, a maior parte dos graus académicos superiores permanece essencialmente confinado às grandes áreas do conhecimento adstritas direta ou indiretamente às ciências sociais e humanas. Nos países da OCDE, 23% dos indivíduos com idade situada entre os 25 e os 64 anos é detentor de um curso superior, um número bastante grande quando comparado com apenas os 5% em ciências naturais e tecnologias. Contudo, as carreiras mais promissoras estão situadas, neste momento, nas áreas CTEM (ciências, tecnologia, engenharia e matemática) o que permitiu que o interesse por estas áreas do conhecimento tenha aumentado nos últimos anos, segundo os dados da OCDE. Contudo, o interesse manifestado por estas áreas faz-se sentir maioritariamente em estágios mais avançados da carreira de um estudante, nomeadamente ao nível universitário [37].

Com o objetivo de aferir os equipamentos utilizados e de se oferecer aos estudantes algo que aumente os níveis de interesse na área das energias renováveis e das novas tecnologias, foi realizada uma visita a várias escolas secundárias do concelho de braga e o cenário encontrado não foi o mais desejável. Na verdade, os equipamentos utilizados não eram muito interessantes, não estimulam os alunos, são relativamente insuficientes e, na sua maioria estão mesmos

danificados. Através das Figuras 20 e 21 é possível constatar o estado e o tipo de equipamentos utilizados nas escolas secundárias.

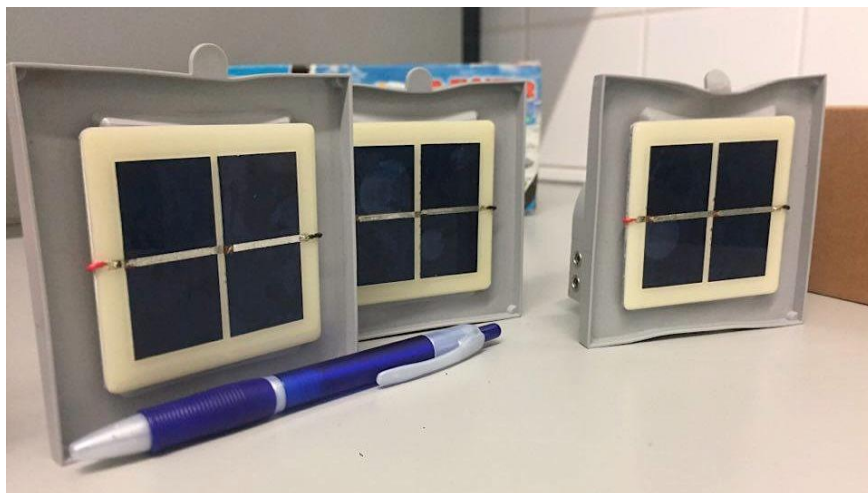


Figura 20 - Exemplo de material "didático" utilizado nas escolas secundárias



Figura 21 - Outro exemplo de um material utilizado para que sejam aprendidos os conteúdos sobre energia.

Através de um estudo intensivo aos programas curriculares das disciplinas de física e química do 10º e do 11º ano assim como das disciplinas de física do 12º ano e de Química de 12º ano, foi constatada a existência de uma lacuna importante. Como foi referido anteriormente, as energias renováveis estão a assumir um papel cada vez mais importante no futuro do planeta Terra e da evolução das sociedades, mas nos programas curriculares portugueses são apenas muito brevemente mencionados, havendo apenas uma experiência prática no 10º ano de escolaridade. Incluída no domínio da "Energia e a sua conservação", a experiência "AL 3.1 - Radiação e

potência elétrica de um painel fotovoltaico” tem como objetivo determinar a influência da irradiância e da diferença de potencial elétrico no rendimento de um painel fotovoltaico. Para que atinjam os resultados, os alunos e professores dispõem de um painel fotovoltaico, uma resistência elétrica, um voltímetro, uma lâmpada e um amperímetro. Com esses equipamentos/materiais os estudantes devem ser capazes de montar um circuito elétrico e utilizar uma lâmpada para simular a radiação solar. Após a conclusão da experiência os alunos devem calcular a potência e elaborar um gráfico da potência em função da diferença de potencial elétrico [38].

Para que o objetivo inicialmente proposto seja alcançado, dever-se-á criar equipamentos que sejam compactos e de fácil arrumação, robustos (para que não sejam facilmente partidos e danificados), e que utilizem poucos materiais para que haja uma poupança ao nível das escolas em termos de gestão de material escolar, mas também uma melhoria do funcionamento das salas de aula. Para além de todos estes pontos mencionados, o produto terá de cativar, motivar e criar interesse para a área científica.

Perante isto, o produto final deverá garantir, para além do ensino das matérias previstas pelo Ministério da Educação, dar também início à obtenção de outro tipo de conhecimentos em outras áreas que serão facilmente compreendidas devido ao carácter lúdico do produto desenvolvido. É precisamente este carácter lúdico, que nos permite oferecer aos alunos a possibilidade de desenvolverem outras características importantes tais como o trabalho em grupo, a criatividade, o espírito crítico e a obtenção de uma melhor preparação para a resolução de certo tipo de problemas.

5.1. Metodologia pedagógica

Para que o processo de criação do kit fosse devidamente enquadrado aos estudantes do ensino secundário, foi necessário efetuar alguma investigação sobre alguns aspetos pedagógicos, de modo a que estes tivessem um carácter mais lúdico.

Como sabemos, existe uma mudança de paradigma a nível mundial com o crescente aparecimento de novas tecnologias e mais avançadas. Por isso, as escolas precisam e devem

renovar-se constantemente e ir além dos métodos de aprendizagem tradicionais através do incentivo de práticas e ideias inovadoras e da utilização de novos dispositivos [39]. Para o efeito, é necessário quebrar velhos paradigmas educacionais que se tornam incompatíveis com os alunos atuais e com as suas necessidades de aprendizagem [40]. A realidade educativa transfigura-se através da entrada das tecnologias, necessitando-se então da adequação de algumas práticas escolares para que contemplem construtiva e coerentemente estes novos recursos tecnológicos [40],[41]. O sistema educativo tem como finalidade primordial a promoção de mudanças nos indivíduos, mudanças essas desejáveis e permanentes, as quais implicam tanto a aquisição de novos comportamentos quanto a modificação dos já existentes [42]. Perante estas novas realidades, a tecnologia deverá ser considerada como algo muito relevante e como um excelente recurso didático, já que contribuirá para dinamizar a sala de aula e facilitar a obtenção de conhecimentos visando a consecução de ótimos resultados ao nível escolar. Na cabeça dos alunos, estes momentos poderão significar algum tipo de descanso e não de uma “aula” em contexto tradicional, o que irá modificar a sua postura e as suas expectativas em relação à vontade de utilização das novas tecnologias [41]. A tecnologia pode facilitar a exploração e a integração da informação, o pensamento superior e a profundidade de envolvimento dos alunos ao permitir que estes projetem, explorem, experimentem, e tenham acesso a informações e modelos mais complexos [43],[44].

Existem teorias que confirmam que a tecnologia e os novos materiais ajudam ao desenvolvimento cognitivo dos alunos [45]. A teoria de Ausubel, ou teoria da aprendizagem significativa é uma teoria que explica a interação seletiva dos mecanismos internos impostos à mente para estruturação do novo conhecimento ao longo do tempo [46]. Segundo o autor desta conhecida teoria, a aprendizagem significativa ocorre quando existem interações entre os novos materiais de aprendizagem que se irão associar a ideias relevantes pre-existentes na estrutura cognitiva, dando origem a ideias verdadeiras e estáveis [47]. Assim sendo, podemos afirmar que a introdução destes novos materiais beneficiará os alunos, professores e também as dinâmicas da sala de aula.

5.2. Fornecedores dos componentes necessários ao desenvolvimento do Kit eólico

Quando se decidiu sobre os materiais selecionados e a forma pela qual se iria desenvolver o protótipo, decidiu-se realizar um estudo acerca dos potenciais fornecedores dos componentes utilizados no desenvolvimento do Kit eólico. Após serem revistos, e tendo-se em consideração que o objetivo final passava pela criação de uma empresa, os materiais deveriam ter um preço competitivo e também sendo ao mesmo tempo robustos e duradouros. Os produtos foram maioritariamente identificados em duas empresas que operam no negócio de e-commerce, e que se referem concretamente à empresa Banggood (<https://www.banggood.com/>) e à empresa AliExpress (<https://www.aliexpress.com/>). Estes dois websites oferecem produtos de todo o tipo, com preços muito competitivos, sendo que o custo referente às taxas de expedição para Portugal pode variar substancialmente (para as peças do Kit eólico tal situação não ocorreu). Nas Figuras 22 e 23 são apresentados os logótipos destas duas empresas distintas.



Figura 22 - logótipo oficial do website Banggood. (Fonte: www.Banggood.com)



Figura 23 - Logótipo oficial do website AliExpress. (Fonte: www.Aliexpress.com)

5.3. Materiais e componentes utilizados

5.3.1. Anemómetro

Devido à necessidade de realizar as experiências estipuladas para o cumprimento dos objetivos propostos pelos programas educativos, foi necessário realizar uma procura e seleção de todos os materiais envolvidos. Neste contexto, foi necessário proceder à encomenda de um anemómetro, componente absolutamente essencial para a realização das experiências propostas no âmbito deste trabalho. A função do anemómetro consiste na medição das velocidades do vento à entrada e à saída da turbina. Este componente integra um pequeno display LCD que mostra o valor da velocidade. Na Tabela 8 são indicadas as especificações do anemómetro utilizado.

Tabela 8 – Especificações do anemómetro utilizado na realização das experiências

Velocidade do ar		
Unidades	Alcance	Precisão
m/s	0-30	+5%
Km/h	0-90	
Bateria	CR2032 3.0V (incluída)	
Consumo	Aproximadamente 3 mA	
Dimensões	40x18x105mm	

Aa Figura 24 corresponde à imagem fotográfica do anemómetro utilizado no âmbito da realização deste trabalho.



Figura 24 - Anemómetro utilizado na construção do kit eólico

No decorrer da experiência, também se usou um outro anemómetro a fim de verificar se os resultados medidos por ambos os aparelhos eram substancialmente equivalentes. Constatou-se não existirem diferenças dignas de registo.

5.3.2. Turbina eólica

A turbina eólica representa o principal componente do Kit e das experiências propostas aos estudantes. Devido à ausência no mercado de turbinas de muito pequena dimensão, foi necessária efetuar uma pesquisa visando a identificação de um brinquedo em forma de turbina que após algumas ligeiras alterações fosse utilizável e constituísse a parte fundamental das experiências propostas. A Figura 25, refere-se a uma fotografia do aerogerador utilizado no âmbito do desenvolvimento deste trabalho.



Figura 25 - Turbina utilizada para a construção do kit eólico.

O vento, direcionado por um soprador, tem a função de fazer rodar as pás do aerogerador que por sua vez vai ativar um desmultiplicador com um sistema de rodas dentadas. Esse pequeno desmultiplicador será o responsável por fazer com que as velocidades de rotação sejam maiores, ou seja, permitirá multiplicar as rotações obtidas pelas pás para que se possa transformar eficazmente energia mecânica de rotação em energia elétrica. Na verdade, tudo se passa como se tratasse de um dínamo de corrente contínua. Como se pode observar na figura 25, o aerogerador estava inicialmente ligado a umas células solares fotovoltaicas que seriam responsáveis pelo fornecimento de energia para promover a rotação das pás desta turbina. Contudo, para que fosse possível obter-se um gerador eletrodinâmico (dínamo de corrente), foi necessário dessoldar as ligações elétricas entre as células fotovoltaicas e a turbina. Feito isto, a turbina ficou em condições para ser ligada a um circuito elétrico externo contendo uma resistência de carga.

5.3.3. Soprador

Para o desenvolvimento do kit eólico foi necessário encontrar um soprador de ar que tivesse a possibilidade de impor diferentes velocidades de vento a fim de permitir realizar as experiências

propostas aos estudantes. Para realizar a procura do soprador na internet, foi utilizada como filtro de pesquisa a imposição deste componente conter um mecanismo que encaminhasse o ar em forma de um tubo retilíneo com secção transversal circular ou retangular. Esta escolha baseia-se no facto de ser mais fácil a compreensão das experiências já que a interação com a turbina será, mais eficaz e melhor evidenciará a lei da continuidade de caudal mássico. Além disso, era importante que tivesse pelo menos 6 velocidades a fim de garantir o sucesso das experiências propostas e para que fosse possível traçar a curva de potência do aerogerador. O soprador escolhido tem 10 velocidades, o que já permite obter eficazmente a curva de potência do aerogerador.

5.3.4. Multímetro

O multímetro é um equipamento digital cuja função consiste em medir grandezas elétricas. Trata-se de um equipamento muito utilizado em laboratórios e nas empresas e a sua utilização é absolutamente indispensável em serviços de campo no que concerne a trabalhos que envolvem aplicações elétricas. O multímetro incorpora vários instrumentos de medição como o voltímetro, o amperímetro e o ohmímetro. As suas funções principais consistem em medir diferenças de potencial elétrico, resistências elétricas e intensidade de corrente. Atendendo a que as experiências exigem que sejam medidas simultaneamente a tensão e a corrente elétrica, foi necessário incorporar 2 multímetros para que sejam medidas estas grandezas nas diferentes posições do circuito elétrico. Na Figura 26 é possível observar o modelo do multímetro utilizado no âmbito da realização deste trabalho.



Figura 26- Multímetro Xindar DP1000.031, selecionado para a realização da experiência.

5.3.5. Resistência elétrica

Uma resistência elétrica é um componente elétrico que tem a função de se opor à passagem de uma determinada corrente elétrica sujeita a uma determinada diferença de potencial aplicada. Assim sendo, para este projeto foi escolhida uma resistência com um valor de $40\ \Omega$. A Figura 27 refere-se à imagem da resistência elétrica utilizada para realizar o circuito externo contemplado na experiência proposta.



Figura 27- Exemplo de um amperímetro com $40\ \Omega$.

5.4. Montagem do Kit Eólico

Após a aquisição dos diversos componentes e devidamente interiorizado a sua função e modo de funcionamento, foi necessário proceder à etapa de construção do Kit eólico. Para que fosse possível efetuar a montagem de algo que funcione e que tenha em atenção a necessidade de

assegurar a aprendizagem das faixas etárias mais jovens, foi decidido criar um circuito elétrico simples para que pudesse ser facilmente montado pelos estudantes. Foram definidas duas experiências práticas para a utilização do Kit através da elaboração de fichas (protocolos) de utilização para o estudante e também as correspondentes fichas resolvidas atribuídas ao professor. Através da montagem e realização das experiências, será possível observar o movimento de uma torre eólica a uma escala muito reduzida e determinar diversas grandezas importantes a num sistema eólico. A Figura 28 representa o esquema do circuito eléctrico externo utilizado neste trabalho.

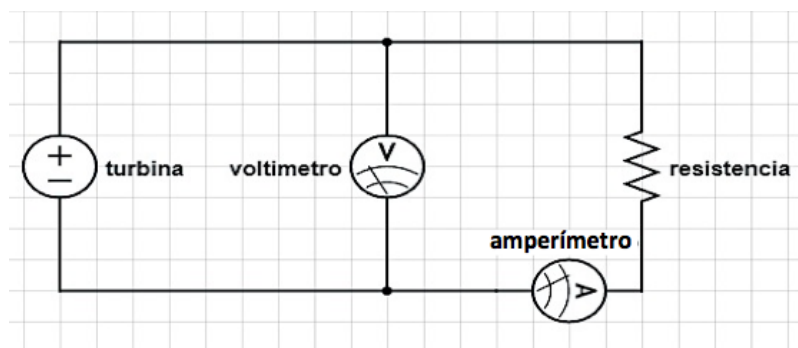


Figura 28- circuito montado para a conceção do protótipo. (circuito realizado em: <https://www.circuitlab.com/editor/>)

A Figura 29 corresponde ao aspeto geral do Kit eólico que foi desenvolvido no âmbito deste trabalho.



Figura 29- Imagem fotográfica do kit eólico montado (1-multímetro; 2-soprador; 3-anemómetro; 4- turbina eólica; 5- resistência)

O anemómetro foi colocado a cerca de 15 cm do soprador, sendo que a turbina fica posicionada a cerca de 5 centímetros atrás do anemómetro.

O kit apresentado na Figura 29, teve um custo total de cerca 170 euros, onde o soprador foi o componente mais dispendioso. O preço do Kit é extremamente importante para que possa apresentar vantagens competitivas em relação aos diversos sistemas concorrentes existentes no mercado. Atendendo a que o seu custo de produção não é muito elevado, então o preço de venda também será bastante inferior ao dos concorrentes o que poderá ser uma alavanca para que seja mais facilmente incluído nas escolas secundárias, profissionais e universidades, não só em Portugal mas também nas outras instituições congéneres estrangeiras. Durante a conceção do produto, propôs-se uma aplicação em ambiente Arduino para que os alunos pudessem trabalhar mais facilmente com o produto sem terem a necessidade de efetuar as diversas ligações. Contudo, essa hipótese foi colocada de lado pois considero e acredito que o facto de serem os alunos a realizarem essas mesmas ligações e a terem o “trabalho” de efetuarem as leituras nos multímetros referentes à intensidade de corrente e à diferença de potencial, vai contribuir para um melhor processo de aprendizagem sustentado num ambiente do “aprender fazendo”, e por conseguinte contribuir para que sejam mais facilmente adquiridas capacidades ao nível de conhecimentos de eletricidade, do trabalho em grupo, do espírito de iniciativa e do

espírito crítico sobre os resultados que vão obtendo à medida que as experiências são realizadas.

5.5. Experiências propostas

5.5.1. Experiência 1 - Determinação da curva de potência através da variação da velocidade do vento incidente

Informação concedida aos alunos

O vento é um recurso existente por todo o mundo. O vento é devido a diversos fatores tais o aquecimento diferenciado de várias zonas do planeta, a altitude do lugar e a densidade do ar. A “força” dos ventos, quando incide nas pás de uma turbina eólica, vai fazer girar o rotor da turbina eólica, gerando-se assim energia elétrica a partir de energia cinética. As pás da turbina têm uma geometria específica para que seja possível retirar o máximo da “força” do vento. A velocidade de rotação da turbina vai está diretamente associada à quantidade de energia recebida pelo vento que depende diretamente da velocidade do vento incidente. Atendendo a que a altitude do local influencia bastante a velocidade do vento, as turbinas deverão ser colocadas em locais com altitudes elevadas para que a eficiência de conversão de energia seja elevada. Esta energia que se gera através do movimento contínuo das pás, irá ser convertida em energia elétrica (através de um processo de indução), que será posteriormente distribuída pela rede elétrica até chegar às nossas casas.

Tarefas a realizar pelos alunos

Após a montagem do sistema, o aluno deve utilizar o anemómetro para medir a velocidade do vento à entrada da turbina para qualquer uma das 10 velocidades de vento disponíveis na fonte de vento (soprador). Para cada uma das velocidades, o aluno deve e registar os valores da

tensão e da corrente elétrica lidas nos multímetros e anotar esses valores na tabela disponibilizada. Após a conclusão das tarefas anteriores, o aluno deve calcular a potência da turbina e elaborar um gráfico que relacione a potência da turbina em função da velocidade do vento incidente, ou seja trata-se de obter a denominada curva de potência da turbina. Por fim, os estudantes devem comentar os resultados obtidos.

Tabela de registo dos dados obtidos por via experimental

Tabela 9- tabela de registo dos dados obtidos pelos alunos experimentalmente na primeira experiência.

Nível	Velocidade do vento incidente V_1 (m/s)	Intensidade da Corrente I (mA)	Tensão U (V)	Potência da Turbina P (mW)
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

A potência mecânica deverá ser calculada através da seguinte expressão:

$$P = I \times U$$

Discussão e interpretação dos resultados obtidos

Nesta parte, os alunos deverão traçar um gráfico que traduza a evolução da potência da turbina em função dos valores crescentes da velocidade do vento incidente. Em seguida devem tecer alguns comentários, preenchendo o espaço livre na frase seguinte:

Através da realização desta experiência foi possível observar

O anexo I, contempla algumas questões adicionais que serão incluídas no manual do utilizador.

Ficha do docente

Tabela 10- tabela fornecida aos professores com dados aproximados dos que terão os alunos, na primeira experiência.

Nível	Velocidade do vento incidente V_1 (m/s) ($\pm 0,1$)	Intensidade da Corrente I (mA) ($\pm 0,01$)	Tensão U (V) ($\pm 0,01$)	Potência da Turbina P (mW)
0	0,0	-	-	0,00
1	5,2	7,10	4,75	33,73
2	6,0	8,50	7,90	67,15
3	8,2	14,00	6,67	93,38
4	9,2	16,40	7,90	129,56
5	9,9	17,40	8,40	146,16
6	10,2	18,50	9,05	167,43
7	10,5	19,00	9,15	173,85
8	10,7	19,19	9,50	182,31
9	10,8	20,00	9,35	187,00
10	11,0	20,50	9,55	195,78

O gráfico apresentado pelos alunos deverá ser idêntico ao que se mostra em seguida:

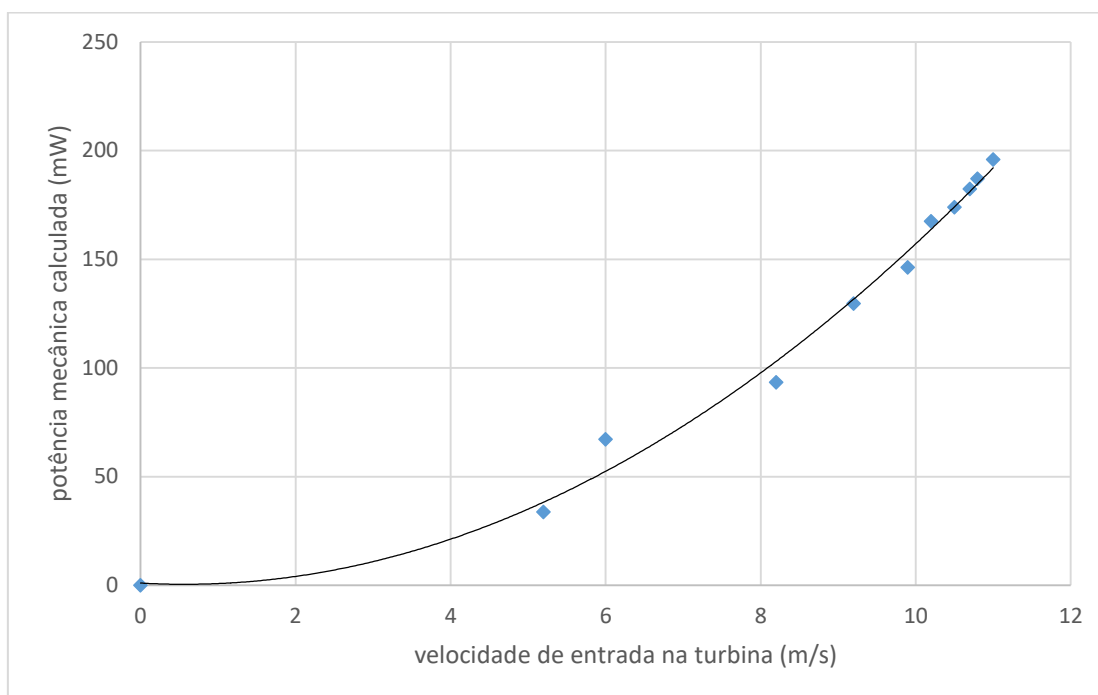


Figura 30- relação entre a potência mecânica calculada na experiência e a velocidade do vento à entrada da turbina

5.5.2. Experiência 2 – determinação do coeficiente de potência através das velocidades de entrada e de saída da turbina

Informação concedida aos alunos

O coeficiente de potência, ou também denominado por eficiência do rotor, fornece informação acerca da quantidade de energia que é aproveitada pela turbina a partir da energia contida no vento (recurso eólico). Trata-se de um parâmetro adimensional (normalmente expresso em percentagem). O máximo valor máximo teórico deste coeficiente é de 59.3% e pode ser calculado através das velocidades de entrada e de saída da turbina. A velocidade do vento pode ser medida através de um aparelho denominado por anemómetro.

Tarefas a realizar pelos alunos

Após a montagem do sistema, o aluno deve medir a velocidade do vento à entrada, e à saída da turbina através da utilização do anemómetro para qualquer uma das 10 velocidades de vento disponíveis na fonte de vento (soprador). O anemómetro deve ser posicionado sempre à mesma distância da turbina eólica. Para cada um dos dez níveis da fonte de vento, o aluno deve anotar na tabela disponibilizada as respetivas velocidades V_1 e V_2 , respetivamente as velocidades de entrada e de saída da turbina. Após concluir esta tarefa, o aluno terá de calcular o coeficiente de potência da turbina através da expressão matemática disponibilizada. Uma vez calculado o coeficiente de potência correspondente a cada um dos valores de V_1 e de V_2 , o estudante deverá calcular a potencia mecânica da turbina tendo, previamente para o efeito, calculado a potência eólica (i.e. potência contida no vento). No final, o estudante deve tecer comentários acerca das eventuais diferenças dos valores obtidos através da realização da experiência 1 e da experiência 2.

Tabela de registo dos dados obtidos experimentalmente

Tabela 11- Tabela de registo dos dados obtidos pelos alunos experimentalmente, na segunda experiência.

Nível	Velocidade do vento V_1 (m/s)	Velocidade do vento V_2 (m/s)	Coeficiente de potência C_p (%)	Potência Eólica calculada P_{eol}	Potencia Mecânica Turbina P_m (mW)
0					
1					
2					
3					
4					
5					
6					

7					
8					
9					
10					

O coeficiente de potência pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$C_p = \frac{\left(1 + \frac{V_2}{V_1}\right) \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2\right]}{2} \times 100\%$$

Para complementar a experiência e os conhecimentos adquiridos, o estudante deve calcular a potência eólica (i.e., a potência contida no vento) através da expressão apresentada em seguida

$$P_{eol} = \frac{1}{2} \rho A V_1^3$$

onde A representa a área das pás do rotor, ρ é densidade do ar e V_1 é a velocidade do vento incidente.

Em seguida, calcular a potência mecânica da turbina e comparar com os resultados da experiência 1.

$$P_m = C_p \times P_{eol}$$

Discussão e interpretação dos resultados obtidos

Nesta experiência, os alunos deverão traçar um gráfico da evolução do coeficiente de potência em função da velocidade do vento incidente. Em seguida deve ainda ser efetuada uma representação gráfica da evolução da potência mecânica, P_m calculada em função da velocidade do vento incidente e comentar os resultados obtidos através da comparação com os que foram obtidos através da experiência 1. Preencha o espaço livre na frase seguinte:

Através da realização desta experiência foi possível observar

O anexo I, apresenta questões adicionais que serão incluídas no manual do utilizador.

Ficha do docente

Tabela 12- tabela fornecida aos professores com dados aproximados dos que terão os alunos, na segunda experiência.

Nível	Velocidade do vento V_1 (m/s) ($\pm 0,1$)	Velocidade do vento V_2 (m/s) ($\pm 0,1$)	Coefficiente de potência C_p (%)	Potência Eólica calculada P_{eol} (mW)	Potencia Mecânica Turbina P_m (mW)
0	0,0	0,00	0,0	0	0
1	5,2	2,2	58,4	44,51	25,99
2	6,0	2,3	59,0	68,38	40,34
3	8,2	3,4	58,6	174,56	102,29
4	9,2	4,4	57,0	246,52	140,52
5	9,9	4,2	58,4	307,19	179,40
6	10,2	4,5	58,0	335,97	194,86
7	10,5	4,6	58,1	336,49	195,50
8	10,7	4,6	58,3	387,84	226,11
9	10,8	4,9	57,7	398,81	230,11
10	11,0	4,9	57,9	421,38	243,98

Os alunos deverão comentar as diferenças obtidas entre os resultados alcançados na experiência 1 e na experiência 2. Para determinar os diferentes valores da potência eólica deve ser previamente ser medido o raio das pás que é aproximadamente igual a 12,5 cm. Quanto à determinação da densidade do ar, deverão ser usadas as condições padrões de temperatura e de altitude.

Os gráficos apresentados pelos estudantes deverão ser idênticos aos que se mostram em seguida:

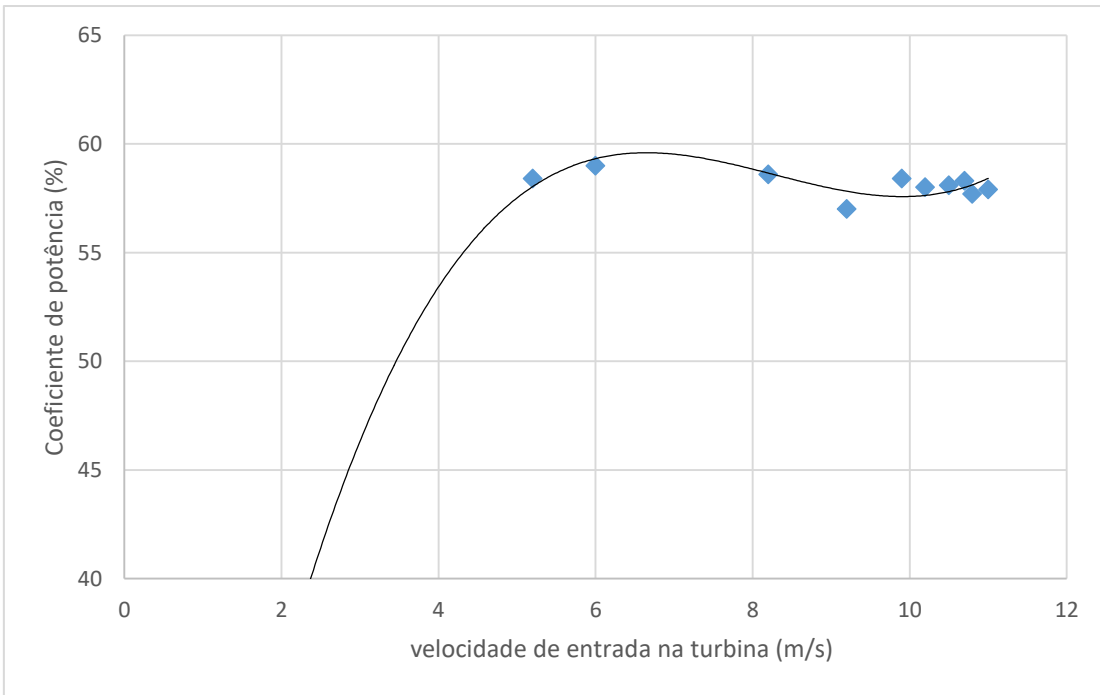


Figura 31- relação entre o coeficiente de potência e a velocidade de entrada na turbina.

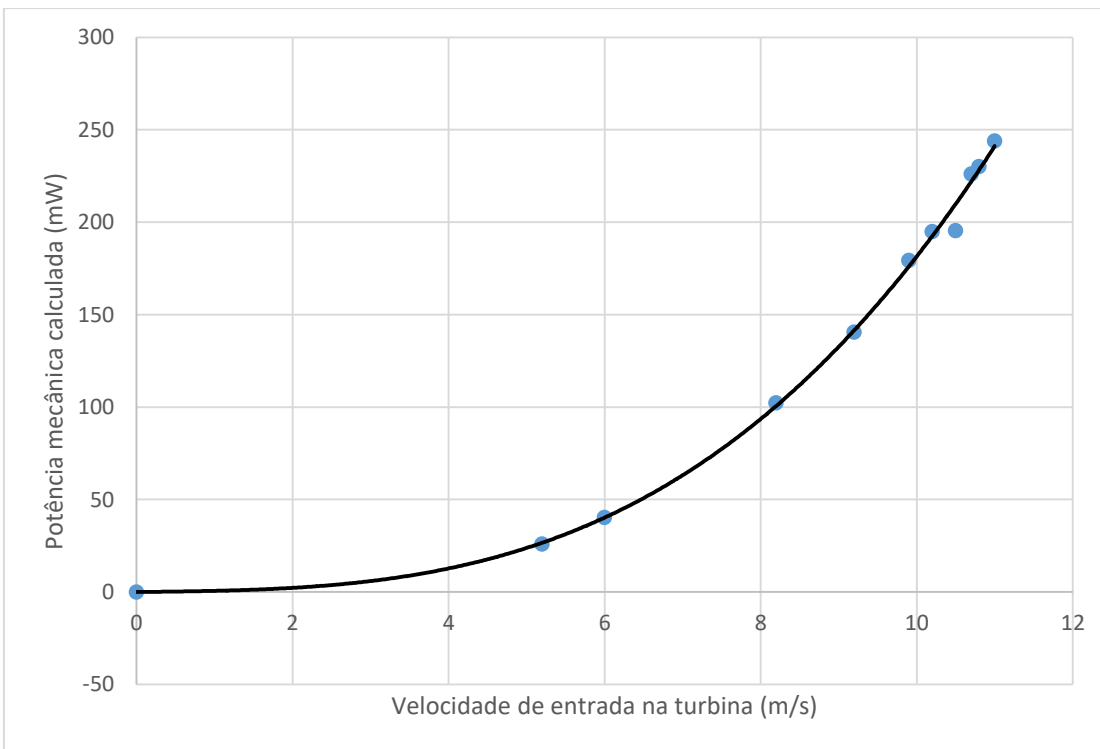


Figura 32- relação entre a potência mecânica e a velocidade de entrada na turbina.

6. Compact Energy Kits

6.1. IdeaLab

Depois de decidido e desenvolvido o tema de tese, e visto o potencial da área foi o estabelecido o objetivo da criação de uma spin-off cuja especialização é o desenvolvimento de equipamentos didáticos sobre energias renováveis e brinquedos CTEM. Como forma de desafio futuro, o professor Joaquim Carneiro lançou um repto, que foi prontamente aceite por mim e pelo meu colega e amigo João Costeira, para que fosse submetida uma candidatura a um programa de tecminho denominado de idealab-laboratório de ideias de negócio. O idealab é, como o próprio nome indica, um programa para jovens empreendedores desenvolverem e amadurecerem as ideias de negócio iniciais, através de um programa intensivo que fornece a todos os participantes bastantes metodologias ligadas ao desenvolvimento de negócios, que facilitam o planeamento e implementação de produtos comercializáveis nos diversos mercados existentes.

Como parte de um desenvolvimento do projeto iniciado na CEK, destacam-se as sessões e workshops Voice of the Customer, Mercado, Estratégia, Finanças e Elevator Pitch, e todas as reuniões com o mentor da nossa equipa José Nuno Dias e Helena Moura.

PROGRAMA		Objetivos	Nº de Horas
START-UP WORKSHOPS			
Voice of the Customer	Compreender as necessidades (nada) através da voz do cliente para a identificação dos processos subjacentes a propósito e diferenciação de uma ideia de negócio.	4h	
Mercado	Desprender a relação entre o mercado e o fator concorrencial na validação de um novo negócio.	4h	
Questões Jurídicas	Compreender algumas questões jurídicas importantes relativas a diferentes formas de sociedades, concessões e sua responsabilidade constituída, bem como, a responsabilidade perante terceiros e principais implicações no âmbito de sociedades. Tipos de relações laborais e contratos de trabalho existentes.	3h	
Estratégia	Compreender a aplicação dos processos de análise estratégica na elaboração do modelo de Business Model Canvas para o desenvolvimento de um novo negócio.	4h	
Propriedade Intelectual	Compreender as várias modalidades existentes ao nível da proteção das invenções, dando ênfase a temas como direitos de autor, patentes e modelos de utilidade, marcas, desenhos ou moldes.	2h	
Apresentação de Trabalhos	Avançar o ponto de situação intermédio dos trabalhos desenvolvidos pelos produtores e os resultados alcançados por cada equipa na análise do Voice of the Customer, do Mercado e da Estratégia.	3h	
Finanças	Caracterizar o financiamento necessário a um projeto empreendedor, bem como a sua avaliação em termos económico-financeiros.	4h	
Elevator Pitch	Preparar os processos subjacentes à apresentação de uma argumentação coerente e persuasiva de uma ideia de negócio.	4h	
Elevator Pitch - Simulação	Preparar e reatuar os argumentos das ideias de negócio para o Elevator Pitch - Simulação Final.	3h	
Elevator Pitch - Sessão Final	Desafiar os produtores a apresentarem as suas ideias de negócio, num formato de "Elevator Pitch", a um júri de avaliadores constituído por membros do Conselho de Administração da TecMinho, que irá atribuir as ideias expostas.	3h	
PRÉ-INCUBAÇÃO	Objetivos		
Mentoria	Acompanhamento dos produtores por vários setores especialistas nas áreas do Voice of the Customer, de negócio, Marketing, Estratégia, Finanças e Elevator Pitch.	6h	
Tutoria		2h	

Figura 33 - certificado de participação no ideaLab, e competências adquiridas no programa.

6.2. Laboratório de empresas

Depois de participar no ideaLab, houve a hipótese da CEK participar no laboratório de empresas, também criado pela TecMinho. Este programa é mais focado no setor empresarial, sendo quase como uma continuação do IdeaLab visto que tem um funcionamento idêntico, mas neste caso atua com projetos que estão numa fase de desenvolvimento superior. Neste programa, o grupo contou também com orientação de um mentor, sendo que depois teve acesso a um business coach.

Os workshops permitiram com que fosse possível, de uma forma relativamente acelerada, obter todo o tipo de conhecimentos acerca do mundo empresarial, mais propriamente nas áreas de Formalizar e Constituir Empresas, como gerir uma PME, Análise económica e Tipos de Financiamento, Marketing, Imagem e Comunicação, Marketing Digital e Técnicas de Vendas e Negociação Comercial.



Figura 34 - logótipo oficial do laboratório de empresas da TecMinho. (Fonte: www.tecminho.uminho.pt)

6.3. Venture Cup Portugal

Já depois de um amadurecimento da ideia inicial e mais preparada para novos desafios, a equipa da CEK participou num concurso de start-ups de uma organização sem fins lucrativos chamada Venture Cup que organiza concursos do género pelo mundo inteiro. O concurso distinguia 3 categorias, e as equipas foram distribuídas consoante essas mesmas categorias. A equipa CEK foi posicionada na categoria green tech, sendo que as outras eram HealthTech e ICT & Services. O programa estava dividido entre 2 dias, onde o primeiro era uma sessão de preparação do pitch que iria ser apresentado no segundo dia, e onde o júri presente na sala aconselhou, ajudou a preparar e foi determinante no sucesso de todas as equipas presentes. No segundo dia, os concorrentes teriam de apresentar um Pitch de 4 minutos perante um júri composto por pessoas influentes nas mais diversas áreas, desde vereadores de camaras municipais até representantes de empresas (ex: Vestas). O concurso ocorreu na Casa da Música no Porto. O projeto encabeçado pela equipa da CEK ganhou a categoria Green Tech, e com isso ganhou também um passe para a participação na maior competição de start ups universitárias do Mundo (University Start-Up World Cup) que decorreria em setembro de 2017 em Copenhaga.

Na figura seguinte podemos ver o momento da entrega desse mesmo prémio à equipa do projeto aqui retratado.



Figura 35 - Momento da entrega do prémio da categoria GreenTech à equipa da Compact Energy Kits

6.4. University Start-Up World Cup

No mês de setembro de 2017, a equipa participou na University Start-up World Cup em Copenhaga. Nos 5 dias em que esteve na Dinamarca, a equipa da CEK, representada pelo João Costeira, teve a oportunidade de participar em diversas atividades proporcionadas pela entidade organizadora, desde flash mentoring até participação numa das maiores feiras de alta tecnologia a nível mundial, HighTech Summit. O concurso proporcionou também networking com pessoas provenientes de mais de 40 países de todo o mundo, com pessoas ligadas ao empreendedorismo daquela zona, o que permitiu não só abrir horizontes no que diz sentido à

mentalidade persistente que é conhecida dos países nórdicos como também criar contactos para que eventualmente mais tarde se possam criar parcerias. No dia do concurso, mais uma vez, como na venture Cup Portugal, os participantes eram distribuídos pelas categorias Green Tech, HealthTech e ICT & Services. A equipa CEK participou nas semifinais e, apesar de não ter recebido o prémio da respetiva categoria, foi presenteada com o prémio Green Initiative Award pelo qual esta extremamente orgulhosa e agradecida. Na figura seguinte podemos ver o certificado do prémio recebido em Copenhaga.



Figura 36 - Certificado do prémio "Green Initiative award" recebido na University Start up World Cup

6.5. Perspetivas Futuras

Após a conclusão da dissertação de mestrado e após todos os conhecimentos e ensinamentos obtidos desde o início desta jornada, os promotores da ideia de negócio aqui retratada, foram definidos como principais objetivos a obtenção de estatuto de spin-off da Universidade do Minho e a criação da empresa formalmente. Ao nível dos projetos já feitos, existem já planos para que esses mesmos produtos possam ser melhorados, como por exemplo no caso do produto cek-wind a introdução de uma placa PVC com o circuito já desenhado para que os alunos consigam na mesma ter a experiência de montar um circuito, mas sem envolver grandes quantidades de fios e ligadores. Em mente estão também novos produtos com fins semelhantes aos já criados, para que se consiga alargar a oferta e para que se abranjam novos segmentos de mercado. No ano letivo de 2018/2019 está prevista a entrada em várias escolas secundárias de Braga, através da realização de testes pilotos com os protótipos até agora criados (Cek-Solar, Cek-SolarCar e Cek-Wind) para que se perceba a recetibilidade dos alunos, professores e responsáveis das escolas. Através destes testes piloto vai ser possível, não só o melhoramento dos programas escolares e das temáticas envolvidas como também o melhoramento do equipamento e das experiências envolvidas para que num futuro próximo sejam produzidos mais conteúdos acerca da temática das renováveis e das outras áreas como a matemática, por exemplo. Prevê-se ainda que a entrada no mercado se concretize ainda no corrente ano de 2018.

6.6. Resumo do plano de negócios

6.6.1. Sumário Executivo

A Compact Energy Kits nasceu da vontade dos promotores em aliar o seu gosto e interesse pelas energias renováveis com a necessidade crescente de melhorar a educação tecnológica e dotar as crianças e jovens de material com interesse didático e que lhes permita objetivamente alcançar uma melhor aprendizagem. Acreditamos que podemos fazer com que as crianças e jovens possam aprender, quer em contexto de sala de aula com os nossos CEK-Solar e CEK-Wind, mas também em casa com o nosso CEK-Solar Car. O nosso maior ponto forte refere-se ao robusto conhecimento técnico e científico sobre as energias renováveis que nos permite estar

um passo à frente da nossa concorrência direta, fazendo com que sejamos capazes de produzir vários kits que irão permitir uma melhor aprendizagem e ajudarão também os pais e professores a incentivar as crianças e jovens a serem mais ativos e criativos. A nossa equipa é constituída por João Costeira e Pedro Dias, ambos licenciados em Ciências do Ambiente pela Universidade do Minho e a frequentar o mestrado em Ciências e Tecnologias do Ambiente – Energia. Contamos também com o apoio de vários elementos ligados à Física, Engenharia Eletrónica e Engenharia Mecânica. Nos próximos anos pretendemos introduzir novos produtos, não só no setor das energias renováveis, mas também nas fileiras científicas em geral, sendo que a base do nosso negócio refere-se a produtos sob a forma de kits didáticos, ou seja, pretende-se que sejam as próprias crianças e jovens a construir o produto, com ajuda contínua de folhetos ou manuais contendo informação e conhecimento científico devidamente contextualizado e relevante.

6.6.2. Segmentos de mercado

Os nossos kits CEK-Solar e CEK-Wind serão especialmente dirigidos às escolas secundárias, podendo ser adaptados para o ensino universitário e profissional. No que concerne ao segmento do ensino secundário, está identificado um universo de aproximadamente 600 escolas secundárias, cada uma delas com necessidade para adquirirem aproximadamente 6 kits. Por outro lado, através de um estudo de mercado efetuado ao nível das escolas secundárias do concelho de Braga, também foi possível constatar que existe uma enorme receptividade para com este tipo de produtos. Todos os professores com os quais conversamos, manifestaram um grande interesse pela ideia. Foram acordadas ainda experiências piloto a serem realizadas em três escolas do concelho de Braga a fim de se aferir a recetibilidade por parte dos alunos e professores e compreender quais os aspetos a melhorar de modo a se poder oferecer o melhor produto possível. Pretendemos ainda estabelecer uma relação muito próxima com escolas de modo a ser possível estarmos sempre a par das suas necessidades e assim podermos satisfazê-las com o fornecimento dos nossos produtos e conteúdos pedagógicos. Os alunos e professores não serão apenas utilizadores, mas também influenciadores. Na verdade, só a implementação de uma estratégia desta natureza será possível criar uma relação de confiança e duradoura no tempo.

7. Referências bibliográficas

- [1] P. Roberto Rodrigues, “Energia Eólica,” *Altern. Energéticas Sustentáveis no Bras.*, 2011.
- [2] R. Gasch, J. Maurer, and C. Heilmann, *Wind Power Plants: Fundamentals, Design, Construction and Operation*. 2011.
- [3] Đ. Bozkurt, “Energy Resources and Their Effects on Environment Vocational School of Technical Studies Electrical Programme 2 Energy Resources 3 Fossil Fuels 4 Energy Resources,” vol. 6, no. 5, pp. 327–334, 2010.
- [4] I. E. Agency, “Energy Technology Perspectives 2017 - Executive Summary - Portuguese version,” 2017.
- [5] J. Goldemberg and O. Lucon, “Energias renováveis: um futuro sustentável,” *Rev. USP*, 2006.
- [6] R. Ferroukhi *et al.*, “Renewable Energy Benefits: Measuring the Economics,” *IRENA Int. Renew. Energy Agency*, p. 92, 2016.
- [7] E. Llera Sastresa, A. A. Usón, I. Z. Bribián, and S. Scarpellini, “Local impact of renewables on employment: Assessment methodology and case study,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 2. pp. 679–690, 2010.
- [8] M. Simas and S. Pacca, “Energia eólica, geração de empregos e desenvolvimento sustentável,” *Estud. Avançados*, vol. 27, no. 77, pp. 99–116, 2013.
- [9] European Commission, *EU energy in figures. Statistical pocketbook*. 2016.
- [10] República Portuguesa, “Plano de Acção Nacional para as Energias Renováveis ao abrigo da directiva 2009/28/CE,” *Resumo da Política Nac. Energias Renov.*, no. iii, pp. 6394–6397, 2010.
- [11] P. Cabral, “O PNAEE 2016 e PNAER 2013-2020 : Estratégias para a Eficiência Energética e Energias Renováveis,” *“Debates ao fim da tarde,”* 2013.
- [12] L. Silva, “Estratégia Nacional para a Energia (ENE 2020),” *6º Work. da Plataforma do Empreendedor*, no. Ene 2020, pp. 1–20, 2010.

- [13] R. M. G. Castro, “Introdução à energia eólica,” *DECC/ Secção Energ.*, vol. 2005, no. 2.1, p. 38, 2005.
- [14] Eurostat, “How much electricity is produced by wind? - Product - Eurostat.” [Online]. Available: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/-/EDN-20170619-1?inheritRedirect=true>. [Accessed: 20-Feb-2018].
- [15] J. Carneiro, “Energia eólica- Energias Alternativas,” *Terra*, vol. 1, p. 47, 2011.
- [16] A. P. Picolo, J. B. Alexandre, and G. A. Rampinelli, “Uma abordagem sobre a energia eólica como alternativa de ensino de tópicos de física clássica,” vol. 4306, 2014.
- [17] B. M. AMARAL, “MODELOS VARX PARA GERAÇÃO DE CENÁRIOS DE VENTO E VAZÃO APLICADOS À COMERCIALIZAÇÃO DE ENERGIA,” 2012.
- [18] F. G. Moreno, “DESIGN OF A SMALL WIND GENERATOR,” 2008.
- [19] Department of Energy, “How Does a Wind Turbine Work? | Department of Energy.” [Online]. Available: <https://energy.gov/maps/how-does-wind-turbine-work>. [Accessed: 20-Feb-2018].
- [20] F. Bouffard and F. D. Galiana, “Stochastic Security for Operations Planning with Significant Wind Power Generation France,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 23, no. 2, pp. 306–316, 2008.
- [21] D. R. Tobergte and S. Curtis, *WindEnergy Handbook*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [22] A. Hemami, *Wind Turbine Technology*. 2012.
- [23] Cresesb, “Energia Eólica: Princípios e Tecnologia,” p. 58, 2008.
- [24] I. Troen and E. Lundtang Petersen, *European wind atlas*. 1989.
- [25] J. Calamia, “Where the wind blows,” *New Sci.*, vol. 234, no. 3126, pp. 31–33, 2017.
- [26] Jarra Hicks, “Communities and wind power,” *ReNew 123*, vol. 2014, no. 18 February.
- [27] C. Gross, “Community perspectives of wind energy in Australia: The application of a justice and community fairness framework to increase social acceptance,” *Energy Policy*, vol. 35, no. 5, pp. 2727–2736, 2007.

- [28] M. Wells, "OVERCOMING WIND RESISTANCE : ENHANCING COMMUNITY ACCEPTANCE OF WIND by PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF In the," *Spring*, 2009.
- [29] J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. 2002.
- [30] S. Eriksson, H. Bernhoff, and M. Leijon, "Evaluation of different turbine concepts for wind power," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, no. 5. pp. 1419–1434, 2008.
- [31] A. Kalmikov, K. Dykes, and K. Araujo, "Wind Power Fundamentals," 2001.
- [32] Dewi, "No Title," 2005. [Online]. Available: <https://www.dewi.de>.
- [33] J. Marques, "Turbinas Eólicas: Modelo, Análise E Controle Do Gerador De Indução Com Dupla Alimentação," p. 158, 2004.
- [34] Y. A. Cengel and J. M. Cimbala, "Chapter 5: Mass, bernoulli, and energy equations," *Fluid Mech. Fundam. Appl.*, pp. 171–226, 2010.
- [35] M. A. R. Talaia, "Analysis of wind power potential of a region of Aveiro , Portugal," vol. 6, no. 7, pp. 519–528, 2010.
- [36] C. Carrillo, J. Cidrás, E. Díaz-Dorado, and A. F. Obando-Montaño, "An approach to determine the weibull parameters for wind energy analysis: The case of Galicia (Spain)," *Energies*, vol. 7, no. 4, pp. 2676–2700, 2014.
- [37] OECD, *Education at a Glance 2017: OECD Indicators*, OECD Publishing. Paris, 2017.
- [38] F. Braguez, G. Ventura, R. Nogueira, and S. Rodrigues, "METAS CURRICULARES DO 3 . ° CICLO DO ENSINO BÁSICO CIÊNCIAS FÍSICO-QUÍMICAS."
- [39] H. J. Watt, "How Does the Use of Modern Influence Language and Literacy Development ? A Review," *Comptemporary Issues Commun. Sci. Disord.*, vol. 37, pp. 141–148, 2010.
- [40] M. Simuforosa, "The impact of modern technology on the educational attainment of adolescents," *Int. J. Educ. Res.*, vol. 1, no. 9, pp. 1–8, 2013.
- [41] M. R. De Lima, R. Kelly, and D. S. Araújo, "O IMPACTO DO USO DAS TECNOLOGIAS NO

APRENDIZADO DOS ALUNOS DO ENSINO FUNDAMENTAL I,” pp. 1–9.

- [42] M. da G. N. Mizukami, “ENSINO: As abordagens do processo.,” *Ed. Pedagógica e Univ.*, pp. 1–13, 1986.
- [43] M. Ito *et al.*, “Living and learning with new media: Summary of findings from the digital youth project,” *Digit. Media*, vol. November, no. November, p. 58, 2008.
- [44] L. Ilomäki, *The effects of ICT on school: teachers ’ and students ’ perspectives*. 2008.
- [45] J. A. Silva, L. M. Gomes, J. G. dos S. Junior, L. S. Leal, M. L. Chagas, and L. M. Gomes Junior, “Energia Solar Fotovoltaica: Um tema gerador para o aprendizado de Física.,” *Sci. Plena*, vol. 13, no. 1, pp. 1–8, 2017.
- [46] A. R. Präss, “Teorias de Aprendizagem,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 57, no. 9, pp. 1689–1699, 2012.
- [47] D. Ausubel, “Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva,” *Plátano Edições Técnicas*, p. 35, 2000.

Construção de um kit eólico didático para o Ensino Secundário

Pedro Dias

Anexo I

Manual do utilizador incluído no Kit



Compact Energy Kits

USER MANUAL

(CEK-WIND – KIT EÓLICO DE APRENDIZAGEM)

1. Introdução

Nos dias atuais, a energia é imprescindível ao estilo de vida que é tomado pelo ser humano. A energia é necessária para aquecimentos, para iluminação e para todos os tipos de atividades humanas. A energia é a capacidade de produzir trabalho. Podemos transformar a energia de uma forma para outra, mas não criá-la a partir do nada. (P. Roberto Rodrigues, “Energia Eólica,” *Altern. Energéticas Sustentáveis no Bras.*, 2011.) Sabemos que a energia pode ser elétrica, mecânica, cinética, potencial entre outras. Esta clara dependência do ser humano faz com que até agora tenham sido utilizados desmesuradamente alguns recursos que para além de poluírem o ambiente, provêm também de fontes não renováveis, ou seja podem acabar qualquer dia. Assim, foi urgente a mudança de paradigma instalado para que não sejam causados mais efeitos negativos no ambiente e para que as reservas de combustíveis fósseis não sejam totalmente esgotadas. Com esta finalidade, introduziram-se novas formas de energia como as energias renováveis que provêm de fontes ilimitadas como a radiação solar e o vento (casos da energia solar e eólica, respectivamente) e que acabam por ser mais “limpas” que as outras até agora utilizadas.

Apesar desta ser uma questão cada vez mais atual, ainda muitas pessoas carecem da informação necessária para perceber e ter interesse na área energética, mais concretamente nas energias renováveis. As escolas, devem então estar “munidas” de equipamentos e programas que visem informar, ensinar e criar interesse dentro desta área que tem uma margem de crescimento bastante grande a todos os níveis, nomeadamente a nível económico pois poderá criar uma independência energética o que significa não haver importações de energia de outros países.

O Cek-Wind tem o intuito de funcionar como um equipamento de apoio às aulas práticas de escolas secundárias, profissionais e também de universidades. Este produto serve para que sejam supridas as necessidades de informação e criação de interesse nas áreas das renováveis através de experiências que priorizam a interação com o produto, apoiadas em certas teorias pedagógicas.

2. Perfil do utilizador

O cek-wind é feito para ser utilizado em contexto de sala de aula entre alunos e professores. O publico alvo então, é bastante alargado sendo que pode ser utilizado desde os 15 anos e que depois pode ser utilizado em qualquer idade superior visto tratar-se de um produto educativo sobre uma problemática atual e que o conhecimento sobre novas áreas pode e deve ser adquirido em todas as idades. A idade mínima é estabelecida baseado nos componentes e nos conceitos utilizados, onde numa idade inferior a 15 anos o assunto poder-se-á tornar mais desinteressante visto que essa é uma idade onde se estão a formar personalidades e onde a atenção prestada nas aulas nem sempre é a melhor devido à maturidade adquirida até ali. Como já foi mencionado, este equipamento tem a finalidade de ser utilizado em salas de aula, onde as experiências de grupo trarão resultados mais compensatórios pois a possibilidade de interação entre alunos tornará possível a entre ajuda que influenciará positivamente a criatividade, espirito critico e a capacidade de resolução de problemas de cada aluno.

O manual deverá ser utilizado como apoio na montagem do kit e como suporte na realização das experiencias propostas sendo que serão apresentados tabelas e exemplos de circuitos elétricos a ser montados.

3. Componentes do sistema

O Sistema é constituído pelos componentes abaixo apresentados:

- Anemómetro

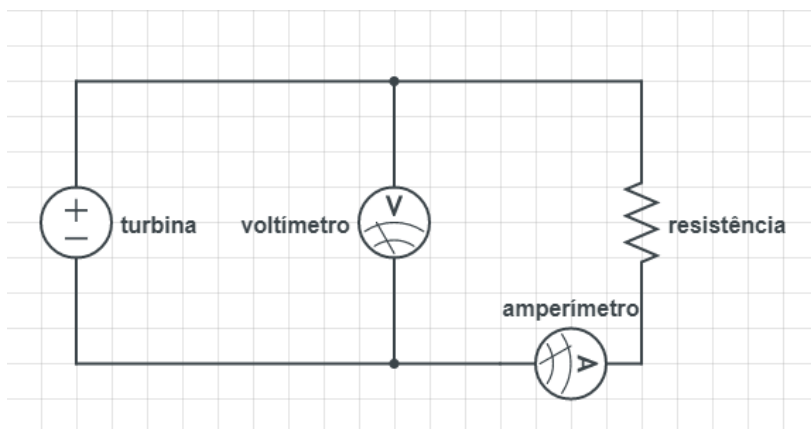


- Turbina



- Circuito elétrico

O circuito elétrico que deverá ser reproduzido pelo usuário deverá ser o seguinte:



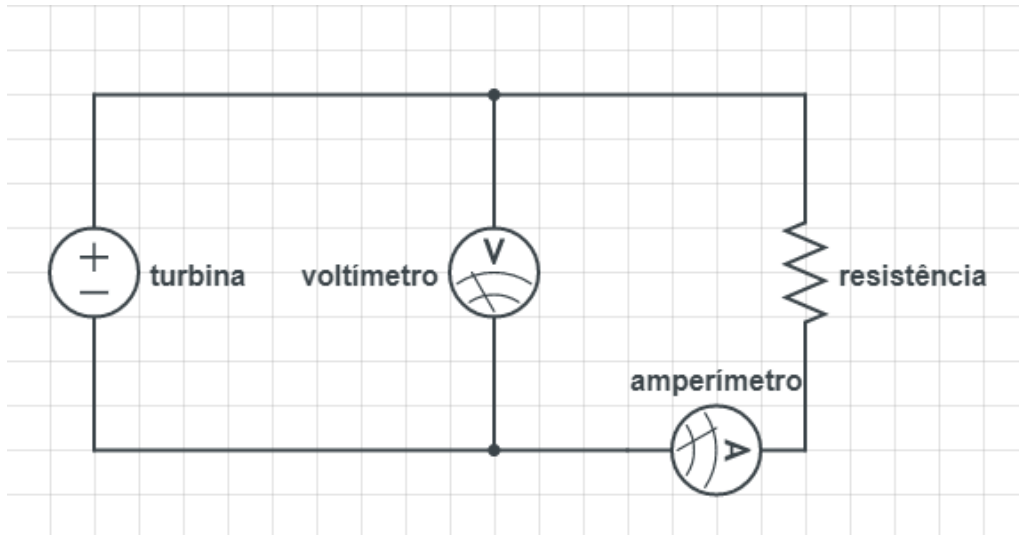
- Multímetro

Os multímetros utilizados servirão de voltímetro e de amperímetro. Isto irá permitir medir as variáveis necessárias para a realização das experiências. O modelo que irá ser utilizado está apresentado na figura seguinte.



4. Esquema de montagem do circuito do Kit

Este kit será usado no contexto de sala de aula, na parte experimental. Como tal, este instrumento tem como objetivo o aumento da capacidade dos alunos de resolverem problemas, de aumentarem o seu sentido crítico, perceberem as energias renováveis e de aumentarem as suas capacidades ao nível da eletrónica. Como tal foi definido um pequeno e simples circuito elétrico que permita aos alunos montarem. Nas figuras seguintes podemos ver o circuito a montar e a disposição do kit já depois de montar.



5. Experiencias a realizar

5.1. Determinação da curva de potência através da variação da velocidade do vento

Informação

Quando são observadas as diferentes turbinas existentes, podemos reparar que para além do tamanho e do tipo de construção existe um elemento em comum a todos os tipos de turbinas e que é o Vento. Trata-se de um elemento que é fundamental para que ocorra o processo de geração de energia eléctrica que depende das suas diferentes velocidades num determinado local. Após a realização desta experiência, vai ser possível determinar a curva de potência de uma turbina eólica através da variação da velocidade do vento incidente nas pás da turbina.

Tarefas

A velocidade do vento incidente deverá variar pelos diferentes 10 níveis de intensidade do soprador (fonte de vento).

Para cada velocidade do vento, a tensão e a intensidade de corrente eléctrica terão de ser medidas e registadas para cada valor de velocidade de vento considerado.

Para cada nível de intensidade de vento, calcular a potência do gerador que lhe está associada. Deverá também ser traçado um gráfico que mostre a variação da potência mecânica do aerogerador com as variações da velocidade do vento incidente nas pás da turbina eólica.

Definições

Número de pás: 3

Forma das pás: Curva

Velocidade do vento: intercalada em 10 níveis, começando da menor para a mais elevada

Resistência de carga: 40 Ω .

Folha de registo

Nível	Velocidade do vento V_1 (m/s)	Intensidade da Corrente I (mA)	Tensão U (mV)	Potencia da Turbina P (mW)
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Questões

1. Através da observação da curva elaborada, indique para que velocidade do vento a potência é máxima.

2. Através da realização desta experiência foi possível observar que duplicando a velocidade do vento incidente, a energia (cinética) contida no vento

5.2. Determinação do coeficiente de potência através das velocidades de entrada e de saída da turbina

Introdução

A velocidade do vento é uma grandeza fundamental que condiciona o rendimento de uma unidade de produção de energia eólica. Após a realização desta experiência será possível calcular os valores do coeficiente de potência de um aerogerador, e compará-los com os valores teóricos.

Tarefas

A velocidade do vento deverá ser alterada em dez passos, sendo que se deverá iniciar com uma velocidade mais baixa e evoluir até uma velocidade superior. A velocidade do vento deverá ser medida com o recurso a um anemómetro colocado à entrada e à saída da turbina e à mesma distância.

Registar os valores de velocidade à entrada e à saída da turbina, v_1 e v_2 respetivamente.

Calcular o valor do coeficiente de potência através da seguinte expressão:

$$Cp = \frac{\left(1 + \frac{V_2}{V_1}\right) \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2\right]}{2} \times 100\%$$

Para complementar a experiência e os conhecimentos adquiridos, pode também ser calculada a potência eólica (i.e., a potência contida no vento) através da expressão apresentada em seguida

$$P_{eol} = \frac{1}{2} \rho A V_1^3$$

onde A representa a área das pás do rotor e ρ é densidade do ar.

Em seguida, calcular a potência mecânica da turbina e comparar com os resultados da experiência 1.

$$P_{mec} = Cp \times P_{eol}$$

Definições

Número de pás: 3

Forma das pás: Curva

Velocidade do vento: variável

Resistência: 40 Ω ;

Folha de registo

Nível	Velocidade do vento V1 (m/s)	Intensidade da Corrente (mA)	Tensão (mV)	Potencia mecânica
0				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

Questões

1. O que podemos observar acerca do comportamento do coeficiente de potência calculado através da diferença de velocidades de entrada e saída para esta turbina?

2. De que forma evolui a curva de potência do aerogerador calculada através desta forma?

3. Comparando com a experiência 1, qual será o método mais eficaz de calcular a potência mecânica do aerogerador?

4. Através desta experiência foi possível observar
