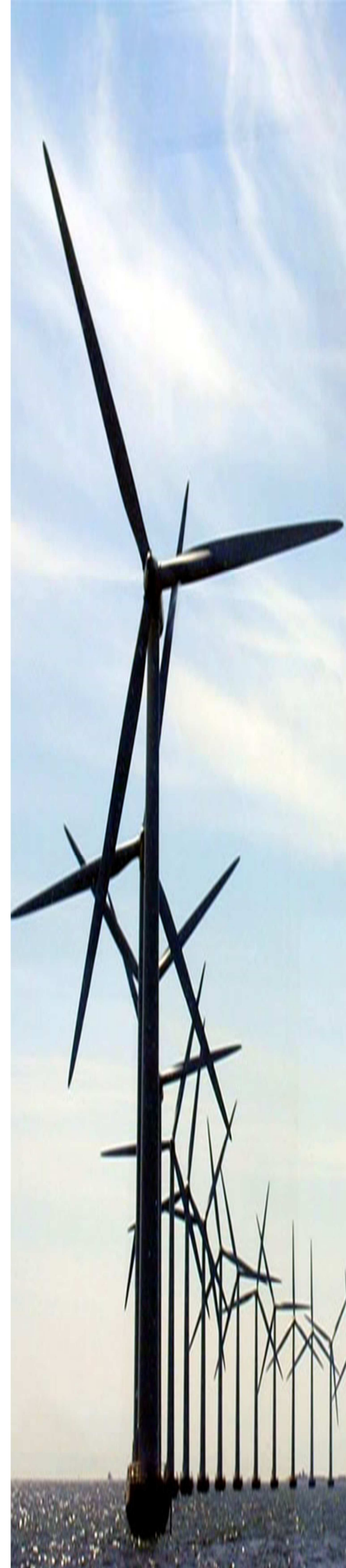


# A ENERGIA EÓLICA

## EM PORTUGAL





# Relatório Projecto FEUP

---

## A Energia Eólica em Portugal

**EQ 606:**

Ana Morgado

Ana Leitão

Ana Raquel Costa

Bárbara Silva

Helena Barranha

Marta Santos

**21/10/2010**

**Monitora:** Vânia Oliveira

**Supervisora:** Dra. Alexandra Pinto

# Resumo do Trabalho

Este trabalho tem como principal objectivo dar a conhecer à comunidade FEUP um pouco mais acerca da energia eólica em Portugal: funcionamento, importância económica e social, ponto da situação e integração com outras energias alternativas.

Relativamente ao funcionamento, abordámos sumariamente o mecanismo de obtenção de energia eólica. Quanto à importância económica e social, referiram-se as vantagens e desvantagens desta fonte energética, bem como os custos e lucros envolvidos no processo. Analisou-se o investimento de Portugal nesta energia comparativamente aos outros tipos de energia e ao investimento de outros países. Ainda, de forma a contornar os inconvenientes da intermitência da energia eólica, foram desenvolvidos métodos como o da bombagem hidroeléctrica e a utilização de pilhas de hidrogénio como soluções.

Assim, podemos concluir que Portugal é, actualmente, um exemplo da utilização da energia eólica como parte significativa do mix energético nacional. Contudo, é, ainda, necessário que o nosso país aposte na integração de métodos que possam suprimir as falhas causadas pela intermitência desta fonte de energia.

# Palavras-Chave

- Energia eólica
- Aerogeradores
- Energias alternativas
- Pilhas de combustível
- Bombagem hidroelétrica

# Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer à nossa monitora Vânia Oliveira, pelos esclarecimentos e orientações que nos forneceu ao longo da realização do nosso projecto, assim como à nossa supervisora Dr. Alexandra Pinto.

Queríamos agradecer, ainda, aos oradores das palestras a que pudemos assistir durante a semana exclusivamente dedicada ao Projecto FEUP, uma vez que este trabalho se encontra completo graças aos conhecimentos por eles partilhados.

# Lista de Siglas e Acrónimos

- **DGEG** – Direcção Geral de Energia e Geologia
- **EDP** - Energias de Portugal
- **ENE** – Estratégia Nacional de Energia
- **EUA** - Estados Unidos da América
- **EWEA** – European Wind Energy Association
- **FEUP** – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
- **km/h** – quilómetros por hora
- **kW** – quilo-Watts
- **MW** – mega-Watts
- **MWh** – mega-Watts por hora
- **UE** – União Europeia

# Lista de Figuras

Figura 1 – Esquema ilustrativo do funcionamento de um aerogerador. Fonte: Energia Eólica no Mundo. 2009.....	12
Figura 2 – Emissões de CO <sub>2</sub> ao longo do ciclo de vida de cada tipo de fonte de energia.....	15
Figura 3 – Evolução da potência instalada em Portugal Continental (2000-2010). Fonte: Ministério da Economia de Portugal. Energias Renováveis: Estatísticas Rápidas. Março de 2010.....	17
Figura 4 - Evolução mensal da produção eólica em Portugal Continental. Fonte: Ministério da Economia de Portugal. Energias Renováveis: Estatísticas Rápidas. Março de 2010.....	18
Figura 5 – Top 10 dos países com maior potência eólica instalada em 2008. Fonte: EWEA. Pure Power Report. 2009.....	18
Figura 6 – Capacidade de geração de base eólica <i>per capita</i> .....	19
Figura 7 – Percentagem das necessidades energéticas satisfeitas pela energia eólica por país da União Europeia no final de 2008. Fonte: EWEA. Pure Power Report. 2009.....	19
Figura 8 – Distribuição da potência de energia produzida por fonte de energia em 2008 (Total 801 GW). Fonte: EWEA. Pure Power Report. 2009.....	20
Figura 9 – Distribuição dos parques eólicos em Portugal em Setembro de 2007. Fonte: ENEOP. 2007.....	21
Figura 10 – Percentagem de potência eólica instalada face ao total de potência instalada (1995-2030). Fonte: EWEA. Pure Power Report. 2009.....	22
Figura 11 – Gráfico ilustrativo da complementaridade hídrica-eólica. Fonte: EDP. Complementaridade Hídrica-Eólica. 2010.....	24
Figura 12 - Esquema do funcionamento genérico de uma célula de combustível a hidrogénio. Fonte: Portal Energia. Células de Combustível – Como funcionam? 2008.....	25

# Conteúdo

1. Introdução .....	9
2. Aerogeradores – Funcionamento.....	12
3. Importância económica e social .....	13
3.1. Energia eólica em Portugal .....	13
3.2. Custos.....	13
3.3. Lucro .....	14
3.4. Empregabilidade.....	14
3.5. Vantagens e desvantagens.....	15
4. A Energia Eólica – Ponto da Situação.....	17
4.1. Evolução.....	17
4.2. Energia Eólica em Portugal vs Outros países.....	18
4.3. Energia Eólica vs Outras energias.....	20
4.4. Os parques eólicos.....	21
5. O futuro da energia eólica .....	22
6. O vento, uma fonte de energia intermitente .....	24
6.1. Bombagem Hidroeléctrica.....	24
– Complementaridade Hídrica-Eólica.....	24
6.2. Pilhas de hidrogénio.....	25
7. Conclusão.....	27
8. Recomendações.....	28
9. Bibliografia .....	29
10. Anexos.....	31
10.1. Anexo I.....	31
10.2. Anexo II.....	32



# 1. Introdução

No âmbito da unidade curricular Projecto FEUP, foi pedida a realização de um relatório, juntamente com um poster e a preparação de uma apresentação a ser exibida no congresso ao longo da semana da Engenharia.

O trabalho desta equipa debruçou-se sobre o tema atribuído: A energia eólica em Portugal.

Após a revolução industrial, o mundo tornou-se dependente de energia para sustentar o modo de vida que a sociedade adquiriu. Inicialmente, o carvão era a matéria-prima utilizada como fonte energética dos transportes terrestres (caminhos de ferro) e marítimos, para a produção de energia eléctrica e sustentava toda a parte industrial da civilização. Com a descoberta do petróleo, e da sua grande capacidade energética, o carvão foi sendo destronado e com isso cada vez menos utilizado.

Actualmente, a maior parte do sistema energético mundial assenta na utilização de petróleo e, em alguns casos, de gás natural, sendo estes considerados combustíveis fósseis. É de conhecimento geral que a utilização de combustíveis fósseis contribuiu para um desenvolvimento que, uns anos antes da sua descoberta, seria inimaginável e impensável. Contudo, nos dias que correm, conhecem-se vários obstáculos à sua utilização, e como tal é necessário encontrar novos recursos energéticos para garantir a prosperidade da sociedade actual.

Sabe-se que o petróleo é uma matéria-prima que demora milhares de anos a formar-se, na geosfera terrestre, e que, por isso, é considerada uma fonte de energia não renovável, uma vez que o seu ritmo de produção é bastante inferior ao do seu consumo. Uma vez que o modelo civilizacional actual se encontra tão dependente desta forma de energia, o seu esgotamento é uma das grandes preocupações dos dias correntes, visto que se prevê a inexistência de petróleo dentro de algumas décadas. As consequências disto serão sentidas a nível global, tendo consequências lógicas directas (é impensável sobreviver sem energia) mas também, indirectas como por exemplo o abalo dos mercados económicos.

Simultaneamente, associada à utilização em massa dos combustíveis fósseis surge outro problema de ordem ambiental: a poluição. O uso de energias não renováveis, como o petróleo, liberta para a atmosfera grandes quantidades de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

que contribui para um aumento do efeito de estufa. Como resultado directo, a temperatura média global aumenta, logo ocorre o degelo dos calotes polares levando a uma subida do nível médio das águas do mar e conseqüentemente a inundações, maior erosão das faixas costeiras e desaparecimento de habitats naturais.

Por último mas não menos importante, o terceiro grande entrave ao uso do petróleo é a segurança de abastecimento devido à instabilidade quer política, quer geológica dos locais onde se encontram as reservas petrolíferas. Aliás, algumas das guerras e conflitos existentes, têm origem no facto de esses locais serem ricos em matéria petrolífera (Médio Oriente, EUA, etc) e por isso serem responsáveis pela sua exportação, pela tabulação de preços.

Posto isto, é necessário descobrir, desenvolver e investir em alternativas para sustentar a nível energético e garantir a sobrevivência da nossa sociedade sem que esta entre em colapso.

Com vista a satisfazer estas exigências, é cada vez maior a aposta em formas de energia alternativas, não poluentes, de certa forma inesgotáveis, que dão pelo nome de energias renováveis. Alguns dos exemplos de energias renováveis são a energia solar, a energia eólica, a energia hídrica, energia geotérmica...

Como já foi referido anteriormente, o presente trabalho incide na energia eólica, nomeadamente em Portugal. O termo “eólico” deriva do latim *aeolicus* termo este relativo a Éolos, deus dos ventos da mitologia grega. Desde a antiguidade que esta forma de energia é utilizada para impulsionar barcos á vela, e para fazer girar as pás dos moinhos (utilizados principalmente para o fabrico de farinhas através da moagem de grãos).

A energia eólica começou, em Portugal, a ser aproveitada para a produção de energia eléctrica em 1986 com a construção do primeiro parque eólico na Ilha de Porto Santo. Dez anos depois instalou-se o primeiro parque eólico no continente.

Neste relatório, estão caracterizados alguns aspectos como:

- A importância económica e social da utilização desta forma de energia - custos de implementação, a quantidade de posto de trabalho criados, o lucro para o país, impacte social enumerando as vantagens e desvantagens do uso de energia eólica, as verbas disponibilizadas e por fim, a rentabilidade em Portugal;

- O ponto de situação ao nível da energia eólica em Portugal - estratégia nacional de energia (novos aeroparques, investimento, política de utilização), potência produzida, quem são os maiores utilizadores, comparação com outros países (nível mundial e da UE), energia eólica vs. outras formas de energia e por último, distribuição de aeroparques por distrito;
- A integração da energia eólica com outras formas de energia - pilhas de combustível e bombagem hidroeléctrica.

Para concluir, o nosso trabalho tem como objectivo, não só informar sobre os aspectos acima referidos, como também apelar à valorização das energias renováveis e apelar à sua utilização para que todos nos possamos contribuir para a prosperidade do nosso planeta de forma sustentável e de modo a ser uma “boa casa” para as gerações futuras.

[1]

## 2. Aerogeradores – Funcionamento

A energia eólica baseia-se na utilização do vento para mover grandes pás dos aerogeradores de forma a produzir energia eléctrica. Estes instrumentos de grandes dimensões são constituídos por uma torre e uma gôndola composta por um rotor (constituído pelas pás e por um eixo, unidos por um rolamento) e aparelhos de medição (um anemómetro, um cata-vento, e um pára-raios). O vento faz girar as pás e estas fornecem energia cinética ao eixo que se encontra ligado a um multiplicador que irá aumentar a velocidade do eixo, esta energia mecânica será transmitida a um gerador que a converterá em energia eléctrica, de seguida é encaminhada para um transformador que a converterá em corrente alternada, a partir daí a energia está pronta para entrar na rede. [2]

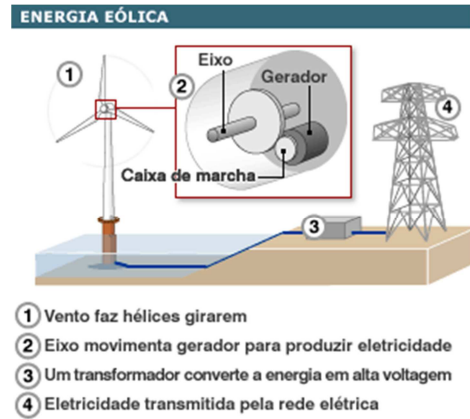


Figura1 – Esquema ilustrativo do funcionamento de um aerogerador. Fonte: Energia Eólica no Mundo. 2009.

## 3. Importância económica e social

O processo de produção de energia eólica, como qualquer outro processo de produção de energia, acarreta diversas vantagens e desvantagens. Importa destacar, neste ponto, o impacto económico e social da implementação e utilização desta energia, fazendo referência à empregabilidade nesta área, aos custos envolvidos, ao lucro obtido, bem como ao investimento de Portugal nesta fonte de energia alternativa.

### 3.1. Energia eólica em Portugal

Devido às suas situações geográfica e geomorfológicas, Portugal consegue obter um aproveitamento energético regular em zonas montanhosas, graças à velocidade e consistência de vento nesses locais.

O governo está, também, com o objectivo de otimizar a vasta costa de que dispõe, a avaliar o potencial de energia eólica *offshore*.

Por outro lado, o investimento neste tipo de energias permite um desenvolvimento territorial mais equilibrado, já que promove a criação de oportunidades em distritos onde o grau de desenvolvimento é menor. [3-4]

### 3.2. Custos

A construção de parques eólicos compreende essencialmente dois tipos de custos: o investimento inicial (aerogeradores, fundações, ligação à rede, etc.) e os custos de operação e manutenção. No caso particular da energia eólica, o investimento inicial é o custo predominante. Apesar de nos últimos anos os custos dos aerogeradores terem vindo a diminuir com a evolução tecnológica, o preço por kW de potência instalada continua a ser mais elevado do que a produção de energia eléctrica a partir de derivados do petróleo. Em Portugal, os preços dos aerogeradores rondam os 1000 e os 1200 euros por kW de potência instalada, o que representa um investimento inicial significativo e pouco apelativo para as empresas, que, regra geral, dão maior importância aos custos e receitas imediatos do que aos a longo prazo. Por outro lado, os custos de operação e manutenção

são mais baixos, pois não é necessário comprar combustível e os restantes custos são relativamente reduzidos. [5-6]

### 3.3. Lucro

Relativamente ao lucro associado a esta fonte de energia, tem-se diversos factores a considerar, dos quais se destacam: o investimento inicial, o tempo de vida útil do aerogerador, os custos de exploração e manutenção, e a quantidade de energia produzida. Assim sendo, os maiores valores de lucro estão associados a maiores valores de energia produzida, ou seja, a maiores velocidades médias do vento. Nesse sentido, é importante avaliar o potencial eólico da região de forma a certificar-se que na zona escolhida é rentável construir um parque eólico. É também importante maximizar o tempo de vida dos aerogeradores, através de uma boa manutenção, de forma a justificar o elevado investimento inicial. [5-6]

### 3.4. Empregabilidade

O investimento na construção de centrais de produção de energia eólica, com destaque para a implementação das mesmas em regiões descentralizadas, tem impactos significativos na criação de empregos e de riqueza local, dinamizando, ainda, outras fontes produtivas como as áreas industriais.

Um dos melhores exemplos da potencialidade de criação de emprego ligada à energia eólica é, sem dúvida, o “cluster” industrial de Viana do Castelo. Em 2006, o Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento abriu um concurso para a sua construção, através de um investimento de 1700 milhões de euros. A construção deste “cluster” tinha como objectivos utilizar a energia eólica como motor para a criação de um sector industrial e otimizar a exploração do recurso eólico em Portugal.

O investimento total do Governo Português dividiu-se em duas partes: 161 milhões de euros foram investidos na parte industrial e 1470 milhões ficaram destinados aos parques eólicos. Os valores apresentados demonstram a grande aposta nacional neste tipo de energia renovável, representando o esquema abaixo o impacto económico-social desta construção.

## Impacto Económico-Social:

- Criação de 29 empresas;
- Desenvolvimento de um pólo industrial de cinco fábricas, para produção de aerogeradores de última geração;
- Criação de sete novas unidades industriais e ampliação de outras doze;
- Distribuição de riqueza em zonas rurais;
- Criação de 1800 novos postos de trabalhos directos em regiões desfavorecidas desta região e de 5500 postos de trabalho indirectos nos seis primeiros anos. [4]

## 3.5. Vantagens e desvantagens

À energia eólica estão associadas diversas vantagens, muitas delas amplamente discutidas na actualidade. Em primeiro lugar, utiliza uma fonte de energia renovável e limpa – o vento – não gerando resíduos nem emitindo gases poluentes. Ajuda também a reduzir a utilização de combustíveis fósseis, contribuindo para a redução do efeito de estufa, uma das grandes preocupações da sociedade actual – segundo a DGEG, por cada MWh de energia eléctrica com origem eólica são reduzidas entre 0.8 a 0.9 toneladas de emissões de gases com efeito de estufa que seriam produzidas pela utilização dos combustíveis fósseis na produção de energia eléctrica.

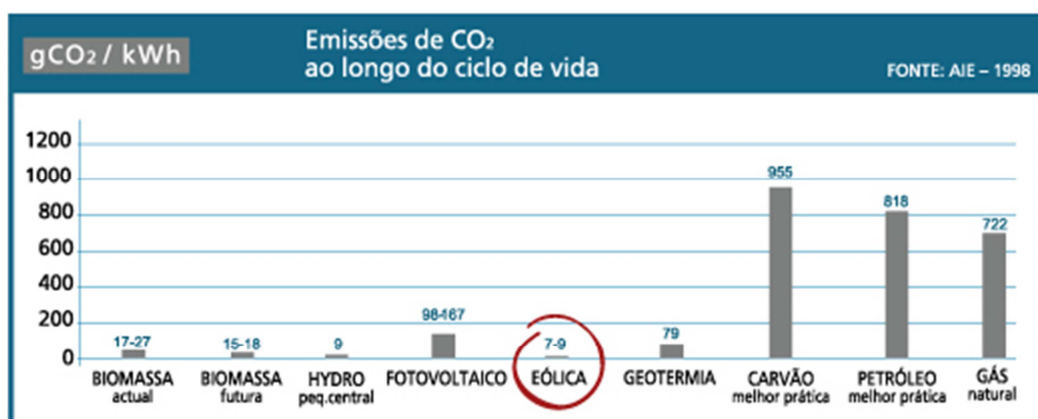


Figura 2 – Emissões de CO<sub>2</sub> ao longo do ciclo de vida de cada tipo de fonte de energia.

Outro benefício é a excelente rentabilidade do investimento, uma vez que o aerogerador, em cerca de 6 meses, recupera a energia gasta com o seu fabrico, instalação e manutenção. Há ainda a ter em conta o factor empregabilidade: a construção de parques eólicos pode gerar investimento em zonas mais isoladas (desfavorecidas), revitalizando a economia regional, bem como criar emprego de qualidade, como já foi referido anteriormente – estudos indicam que a energia eólica gera cinco vezes mais emprego por euro investido do que as tecnologias associadas ao carvão ou nuclear. Por último, a produção de energia eólica em Portugal contribui para a redução da elevada dependência energética e geopolítica do exterior, no que toca, por exemplo, aos combustíveis fósseis, muitas vezes provenientes de zonas politicamente instáveis. Importa ainda referir que, por não envolver compra de combustíveis, a energia eólica não é influenciada por variações do mercado, como por exemplo o preço por barril de petróleo, tornando-se, assim, uma fonte de energia fiável e com custos relativamente fixos.

No que toca às desvantagens, temos as do domínio social/ambiental, que engloba aspectos como o impacte paisagístico dos parques eólicos, poluição sonora (derivada do ruído provocado pelo movimento das pás dos aerogeradores) e possível alteração das rotas migratórias das aves. Todas estas desvantagens podem, no entanto, ser minimizadas ou mesmo resolvidas através da realização de estudos ambientais e de planos de ordenamento de território. Aliás, foram já efectuados vários estudos que concluíram que a maior parte das aves evita a colisão com as pás dos aerogeradores.

O maior inconveniente desta fonte de energia é a sua intermitência. São necessários no mínimo 9 Km/h de velocidade para que um aerogerador funcione, o que nem sempre acontece. [5-7]



## 4. A Energia Eólica – Ponto da Situação

Apesar de, na actualidade, associarmos a energia eólica a tecnologias de ponta, a energia do vento já desde a antiguidade é utilizada para fazer mover os barcos à vela ou para fazer mover as pás dos moinhos. [8] Transpondo agora para actualidade, a energia eólica é utilizada para mover as pás dos aerogeradores, movimento este que irá produzir energia eléctrica, conforme explicado no ponto 2.

### 4.1. Evolução

Conforme ilustra a figura 3, Portugal tem vindo a instalar cada vez mais potência eólica e aerogeradores ao longo dos anos. Em Janeiro do ano de 2000, a potência instalada era praticamente nula, valor que tem aumentado significativamente nos últimos dez anos, tendo atingido em Março deste ano (2010), o valor 3.725 MW de potência instalada, em Portugal continental. A taxa de crescimento média anual da potência instalada em Portugal continental entre 2001 e 2009 foi de 46,6%.

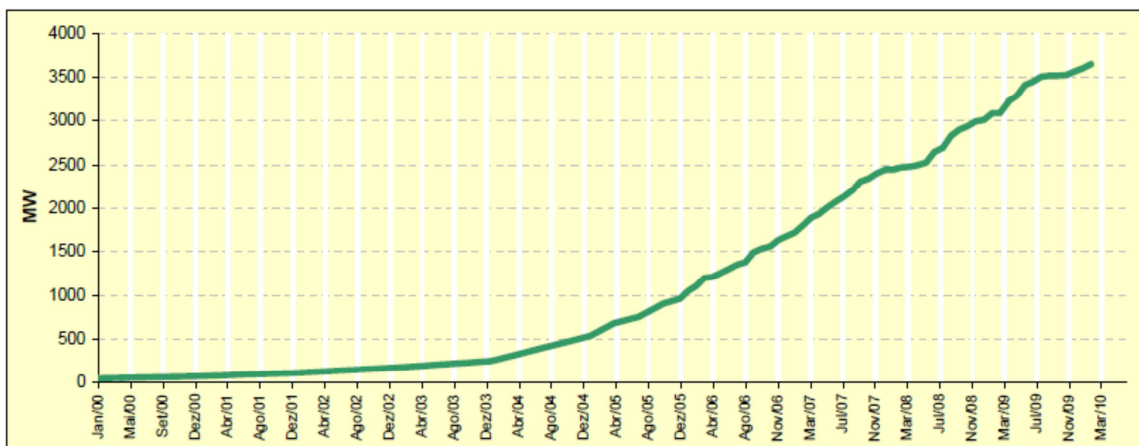
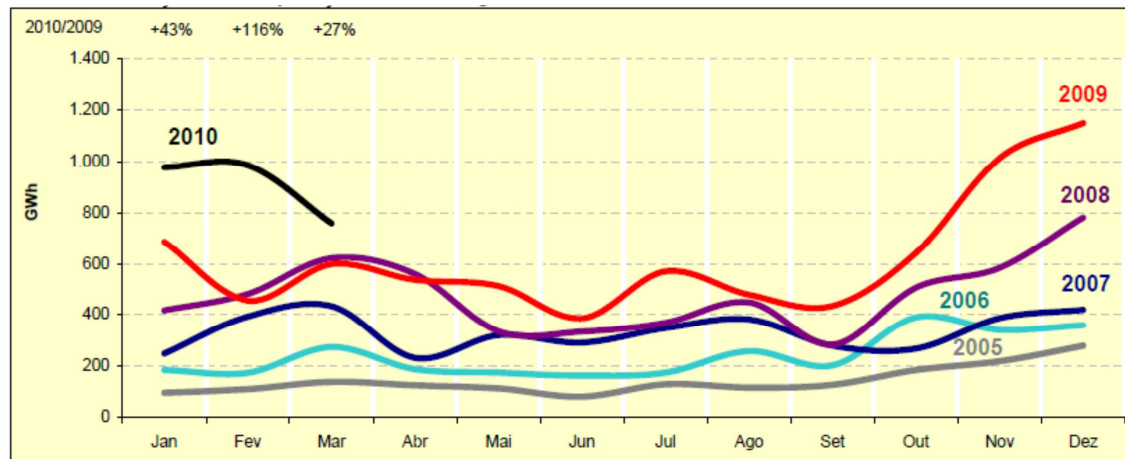


Figura 3 – Evolução da potência instalada em Portugal Continental (2000-2010). Fonte: Ministério da Economia de Portugal. Energias Renováveis: Estatísticas Rápidas. Março de 2010.

O gráfico da figura 4 apresenta a comparação da energia produzida pelos aerogeradores em Portugal continental dos meses homólogos dos anos anteriores e subsequentes. Pode observar-se que em cada ano, a energia eólica produzida é maior do que no ano anterior, como já tínhamos concluído através do gráfico 3. [9]



Nota: Os valores em percentagem correspondem à variação relativamente ao mês homólogo do ano anterior.

Figura 4 - Evolução mensal da produção eólica em Portugal Continental. Fonte: Ministério da Economia de Portugal. Energias Renováveis: Estatísticas Rápidas. Março de 2010.

## 4.2. Energia Eólica em Portugal vs Outros países

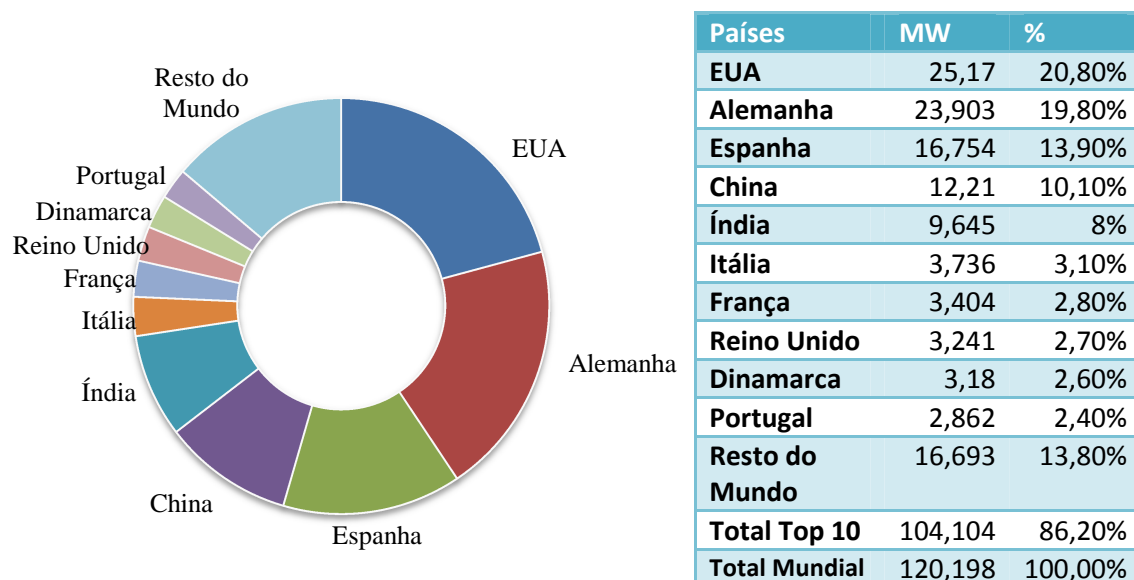


Figura 5 – Top 10 dos países com maior potência eólica instalada em 2008. Fonte: EWEA. Pure Power Report. 2009.

Na última década, Portugal tem vindo a destacar-se pelo seu investimento em energias alternativas, nomeadamente na energia eólica. Em 2008, Portugal ocupava o décimo lugar a nível mundial em MW de potência total instalada (figura 5), produzindo cerca de 2,4% do total da energia eólica mundial. [10]

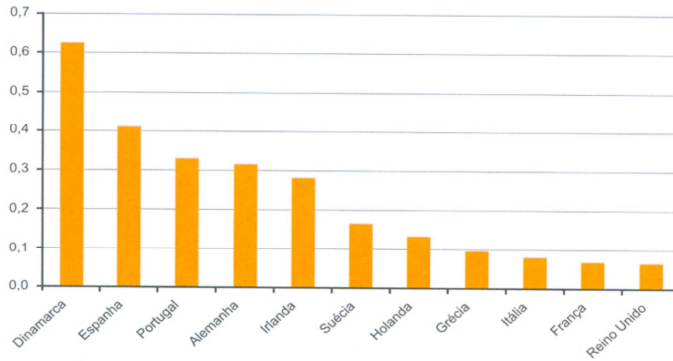


Figura 6 – Capacidade de geração de base eólica per capita.

mostra o gráfico da figura 7.

Estudos indicam ainda que 11.4% das necessidades energéticas de Portugal em 2008 foram satisfeitas através da energia eólica, valor que coloca Portugal no terceiro lugar da lista de países europeus em que a energia eólica representa maior

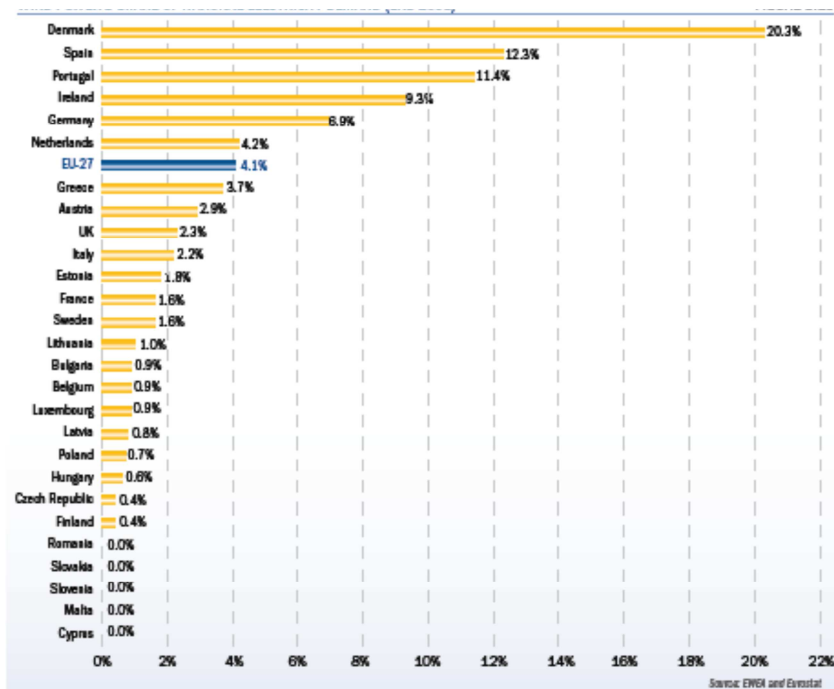
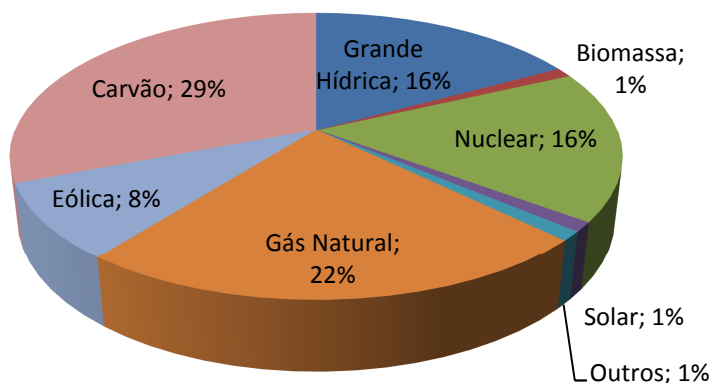


Figura 7 – Percentagem das necessidades energéticas satisfeitas pela energia eólica por país da União Europeia no final de 2008. Fonte: EWEA. Pure Power Report. 2009.

percentagem das necessidades energéticas do país, como mostra a figura 7. [10]

### 4.3. Energia Eólica vs Outras energias



**Figura 8 – Distribuição da potência de energia produzida por fonte de energia em 2008, na Europa (Total 801 GW). Fonte: EWEA. Pure Power Report. 2009.**

A nível europeu, as energias não renováveis continuam a representar a grande maioria da energia produzida (fig. 8). No que toca às energias renováveis, em 2008, a hidroelétrica representou a maior fatia de energia produzida (16%), seguida da eólica (8%). [10]

O cenário em Portugal é idêntico – a energia hídrica é, entre as energias renováveis, a mais proeminente. No entanto, a utilização da energia hídrica para a produção de electricidade tem mostrado tendência para estabilizar ao longo dos últimos anos, enquanto que o mercado da energia eólica é, como já se demonstrou anteriormente, um mercado em expansão, que seguramente terá tendência a satisfazer uma fatia cada vez maior das necessidades energéticas tanto nacionais, como mundiais. [9]

## 4.4. Os parques eólicos

De forma a aproveitar ao máximo a força do vento e obter maiores quantidades de energia, o mais indicado é agrupar os aerogeradores em parques eólicos.

A maior parte dos parques eólicos instalados em Portugal encontram-se na metade norte do País (ver figura 9). Quando se decide da instalação de um parque eólico, é necessário ter em conta as condições do terreno no qual se pretendem instalar os aerogeradores, nomeadamente os desníveis do terreno, a existência de obstáculos e a orografia da área para se obter o melhor rendimento possível.

Os desníveis do terreno diminuem a velocidade do vento, sendo que obstáculos (como, por exemplo, a presença de árvores ou edifícios), e as superfícies acidentadas provocam turbulências que incidem negativamente no aproveitamento do vento.

Os locais mais ventosos costumam encontrar-se nas zonas costeiras e no cume dos montes. Sendo a costa portuguesa densamente povoada, os parques eólicos em Portugal têm vindo a ser construídos em zonas mais interiores, mas montanhosas, para maximizar o recurso eólico. [11-12]

Os distritos de Viseu, Coimbra, Castelo Branco e Vila Real encontram-se entre os distritos de Portugal que mais energia eólica produzem. [9] O parque eólico do Alto Minho, constituído por 120 aerogeradores, contou com um investimento na ordem dos 360 milhões de euros e encontra-se no 13º lugar entre os vinte maiores parques eólicos do planeta em 2010, o que, mais uma vez, demonstra o grande investimento de Portugal nesta energia alternativa. [12-13]

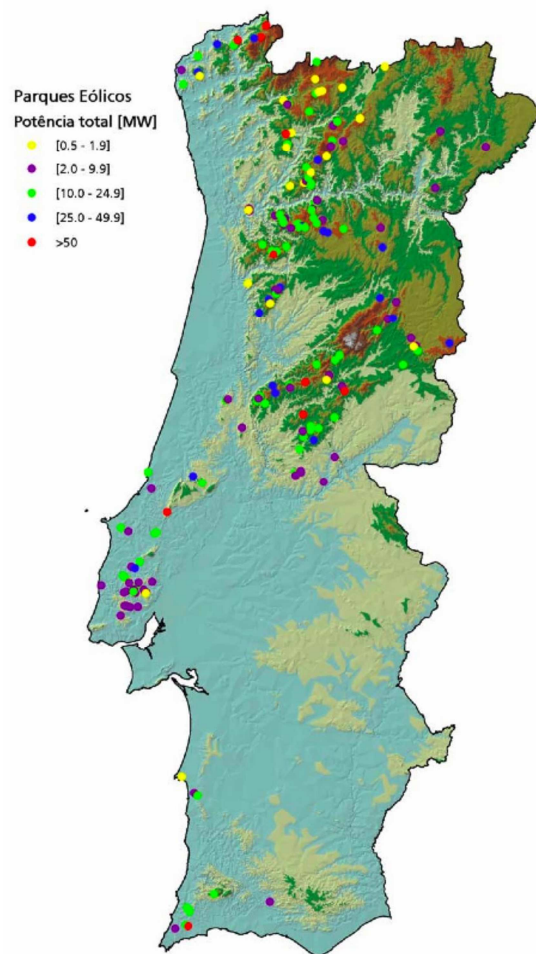
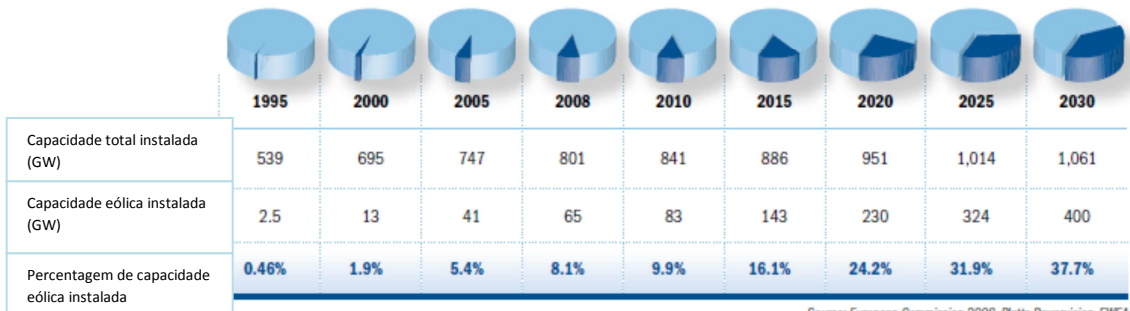


Figura 9 – Distribuição dos parques eólicos em Portugal em Setembro de 2007. Fonte: ENEOP. 2007.

## 5. O futuro da energia eólica

A EWEA publicou em 2009 o seu relatório “Pure Power”, no qual faz previsões para os próximos vinte anos no que toca à evolução da energia eólica na UE.



**Figura 10 – Percentagem de potência eólica instalada face ao total de potência instalada (1995-2030). Fonte: EWEA. Pure Power Report. 2009.**

Como mostra a figura 10 a tendência será a de a energia eólica vir a representar uma percentagem cada vez maior da potência instalada europeia, atingindo em 2030 o valor de 37,7% do total da potência energética instalada. [10]

Também Portugal seguirá esta tendência, segundo as previsões do Ministério da Economia. A base da produção de energia renovável nacional encontra-se fundamentalmente na produção de energia hídrica e energia eólica, tendo sido notória a aposta do Governo Português em promover o desenvolvimento de ambas.

A energia eólica, em particular, tem apresentado uma forte progressão nos últimos anos: a potência instalada passou de 537 MW, em 2004, para mais de 3.500 MW, em 2009. O Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento, prevê que até 2012 serão instalados mais 2.000 MW como resultado de uma política de lançamento de concursos, e, ainda, 400 MW de potência provenientes da exploração do potencial de sobre-equipamento dos parques existentes.

Tendo em conta a crescente importância da energia eólica no panorama energético nacional, foi definida a Estratégia Nacional de Energia até 2020. Este plano assenta num conjunto de eixos/medidas, dos quais são importantes destacar os seguintes:

- “Eixo 2 – A ENE 2020 aposta nas energias renováveis promovendo o desenvolvimento de uma fileira industrial indutora do crescimento económico e do emprego, que permita atingir as metas nacionais (...), intensificando a diversificação das energias renováveis no conjunto das fontes de energia que abastecem o País (mix energético).” (Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento 2010);

- “Eixo 5 – A ENE 2020 promove a sustentabilidade económica e ambiental como condição fundamental para o sucesso da política energética, recorrendo a instrumentos da política fiscal, parte das verbas geradas no sector da energia pelo comércio de licenças de emissão de CO<sub>2</sub> e a outras receitas geradas pelo sector das renováveis, para a criação de um fundo de equilíbrio tarifário que permita continuar o processo de crescimento das energias renováveis.” (Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento 2010).

Esta estratégia energética prevê que até 2020 sejam instalados 3.000 MW de potência eólica, contando já com a possibilidade de grande parte dessa produção energética provenha de aeroparques *offshore*.

O investimento previsto para o sector energético nacional, de mais de 31.000 milhões de euros ao longo da próxima década, permite a modernização e a promoção de um modelo económico competitivo, “com mais equidade territorial, gerador de empregos sustentáveis e qualificados, contribuindo para um maior equilíbrio da balança comercial através do aumento das exportações de bens de equipamento e da redução de importações de combustíveis fósseis.” (Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento 2010).

Portugal é, actualmente, uma referência mundial no domínio da energia eólica, tendo assumido para os próximos dez anos uma meta de 31% de consumo final de energia a partir de fontes renováveis. [1]

## 6. O vento, uma fonte de energia intermitente

O vento não é uma fonte de energia contínua, uma vez que nem sempre incide com a mesma intensidade. Daí vem que, por vezes, exista uma produção excessiva de energia e outras vezes ocorra a sua escassez. Assim sendo, surge a necessidade de aproveitar a energia produzida em excesso de forma a compensar as alturas em que não se produz energia por falta de velocidade do vento.

### 6.1. Bombagem Hidroeléctrica

#### – Complementaridade Hídrica-Eólica

Um conceito recente é o da bombagem hidroeléctrica (ver figura 11). O objectivo deste sistema é permitir que nos períodos de menor consumo energético do dia, que regra geral correspondem a uma grande produção de energia eólica, esta energia

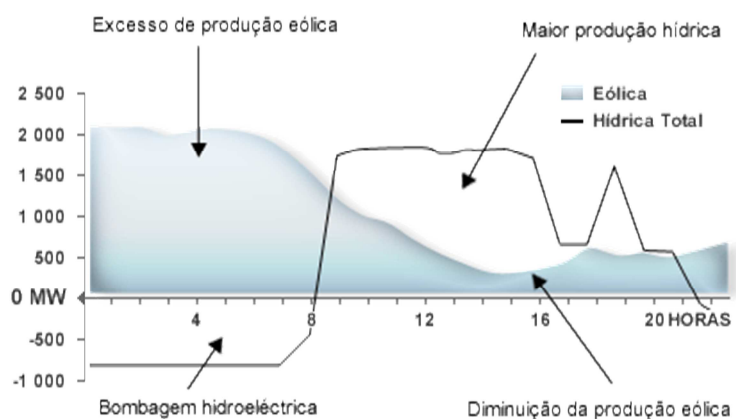


Figura 11 – Gráfico ilustrativo da complementaridade hídrica-eólica.  
Fonte: EDP. Complementaridade Hídrica-Eólica. 2010.

possa ser utilizada para bombear a água das albufeiras. Este sistema possibilita a reutilização da água para produzir nova energia hidroeléctrica nos períodos de maior consumo energético, permitindo um melhor aproveitamento de projectos eólicos e hídricos nas centrais que dispõem do sistema de bombagem, facilitando a viabilização técnica dos altos níveis de potência eólica previstas nos próximos anos. [14]

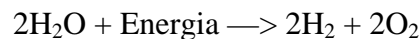


## 6.2. Pilhas de hidrogénio

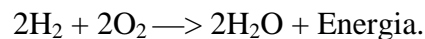
Uma das tecnologias desenvolvida e utilizada é a das células de combustível, nomeadamente as de hidrogénio.

O hidrogénio é o elemento químico mais abundante do universo, e é também o elemento com maior energia por unidade de massa, daí ser vantajoso utilizá-lo na produção de energia.

O funcionamento das células de combustível a hidrogénio integradas em aerogeradores tem como base o processo de electrólise, isto é, da separação de elementos quimicamente ligados. Duas moléculas de água, submetidas a corrente eléctrica, podem ser separadas em oxigénio (O<sub>2</sub>) e duas moléculas de hidrogénio (H<sub>2</sub>). Este processo pode ser traduzido pela seguinte equação:



Nas células chamadas “reversíveis”, o processo inverso também pode ocorrer. A equação que traduz o funcionamento genérico de uma pilha de hidrogénio é, então:



Desta forma, o funcionamento de uma célula de hidrogénio assemelha-se ao de uma bateria. Geralmente, a energia utilizada na produção de hidrogénio é proveniente de combustíveis fósseis. É aqui que a energia eólica pode entrar. Já existe um projecto, do National Renewable Energy Laboratory, denominado de Wind2H2 (Wind to H<sub>2</sub> – em português, vento a H<sub>2</sub>), que se propõe a utilizar a energia eléctrica produzida nos aerogeradores para fazer a electrólise da água e gerar hidrogénio. Assim, a energia eólica ficaria armazenada sob a forma de energia química nas células de combustível, o que é extremamente vantajoso, pois permitiria armazenar a energia eólica excedente e libertá-

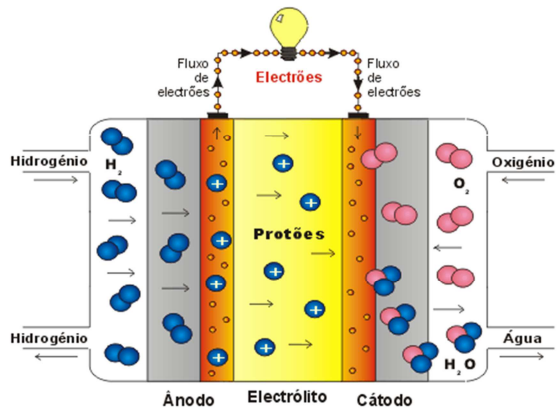


Figura 12 - Esquema do funcionamento genérico de uma célula de combustível a hidrogénio. Fonte: Portal Energia. Células de Combustível – Como funcionam? 2008.

la quando a produção de energia nos aerogeradores fosse insuficiente, sob a forma de uma corrente contínua.

Ambas as tecnologias beneficiam uma da outra. Por um lado, pode resolver-se um dos maiores inconvenientes da energia eólica, que está relacionado com a sua intermitência; por outro lado, as pilhas de hidrogénio, geralmente alimentadas a partir de combustíveis fósseis, podem beneficiar da utilização de uma energia limpa e renovável, a energia eólica. **[15-16]**

## 7. Conclusão

Este trabalho permitiu-nos concluir que o processo de produção de energia eólica é bastante rentável, graças à utilização de aerogeradores de funcionamento relativamente simples. Esta produção não tem sofrido alterações significativas ao longo do tempo devido à sua eficácia, mas alguns dos seus inconvenientes (como por exemplo o facto de ser uma fonte de energia intermitente) começam, agora, a ser contornados recorrendo à integração de outras fontes energéticas como sistemas de bombagem hidroeléctrica e pilhas de combustível (nomeadamente de hidrogénio).

Outro ponto a destacar do nosso trabalho é a optimização que Portugal faz das suas condições geomorfológicas e geográficas, apostando nesta energia verde, como futuro da produção eléctrica nacional, com vantagens nos sectores económicos e sociais. Deste modo, o nosso país é um exemplo da rápida implementação de medidas ecológicas, tornando-se num dos maiores produtores de energia eólica.

## 8. Recomendações

Sendo do conhecimento geral a grande necessidade mundial na aposta em energias renováveis, é importante que alertemos a comunidade FEUP para algumas estratégias com vista a tornar cada vez mais rentável a exploração destas fontes, no caso particular do nosso trabalho, o vento.

Como foi dito anteriormente a exploração da energia eólica deve ter em conta as condições geomorfológicas e geográficas da área em questão, ou seja, optar por zonas altas onde a velocidade e a constância do vento sejam consideráveis para que a produção desta energia possa ser directamente encaminhada para corrente pública. Uma vez que o armazenamento da energia produzida em aerogeradores é pouco viável, foram encontradas soluções que podem trabalhar em simbiose com estes, é o caso das pilhas de combustível, com destaque para a de hidrogénio, e os sistemas de hidro-bombagem, já que ambos fornecem energia á rede quando as condições meteorológicas não são propícias á produção de energia eólica.

## 9. Bibliografia

[1] Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira. 2008. A Caminhada e o Futuro Energético do Homem.

[http://www.areas.pt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=62%3Aa-caminhada-e-o-futuro-energetico-do-homem&catid=38%3Aartigos&Itemid=62&lang=pt](http://www.areas.pt/index.php?option=com_content&view=article&id=62%3Aa-caminhada-e-o-futuro-energetico-do-homem&catid=38%3Aartigos&Itemid=62&lang=pt) (accessed October 2, 2010).

[2] Centrais Eléctricas. 2010. Energia Eólica.

<http://centraiselctricas.wordpress.com/energia-eolica> (accessed October 2, 2010).

[3] Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. 2010. Plano Novas Energias ENE 2020.

[http://213.58.220.193/mei/Document/ENE2020\\_PT.pdf](http://213.58.220.193/mei/Document/ENE2020_PT.pdf) (accessed October 8, 2010).

[4] Ministério da Economia e da Inovação. 2007. Energias Renováveis em Portugal.

[http://www.min-economia.pt/document/Energias\\_Renov\\_PT.pdf](http://www.min-economia.pt/document/Energias_Renov_PT.pdf) (accessed October 8, 2010).

[5] Direcção Geral de Energia e Geologia. 2010. <http://www.dgge.pt/> (accessed October 7, 2010)

[6] ENEOP (Eólicas de Portugal). 2009. Custos da Energia Eólica.

[http://www.eneop.pt/subcanais\\_n1.asp?id\\_subcanal\\_n1=178&id\\_canal=110](http://www.eneop.pt/subcanais_n1.asp?id_subcanal_n1=178&id_canal=110) (accessed September 30, 2010).

[7] Portal da Energia. 2008-2010. Vantagens e Desvantagens da Energia Eólica.

<http://www.portal-energia.com/vantagens-desvantagens-da-energia-eolica/> (accessed October 2, 2010).

[8] Wikipedia. 2010. Energia Eólica. [http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia\\_e%C3%B3lica](http://pt.wikipedia.org/wiki/Energia_e%C3%B3lica) (accessed October 9, 2010).

[9] Ministério da Economia e da Inovação. 2007. Energias Renováveis: Estatísticas rápidas - Março de 2010.

<http://www.min-economia.pt/document/renovaveis.pdf> (accessed October 1, 2010).

[10] EWEA (European Wind Energy Association). 2005-2010. Pure Power Report.

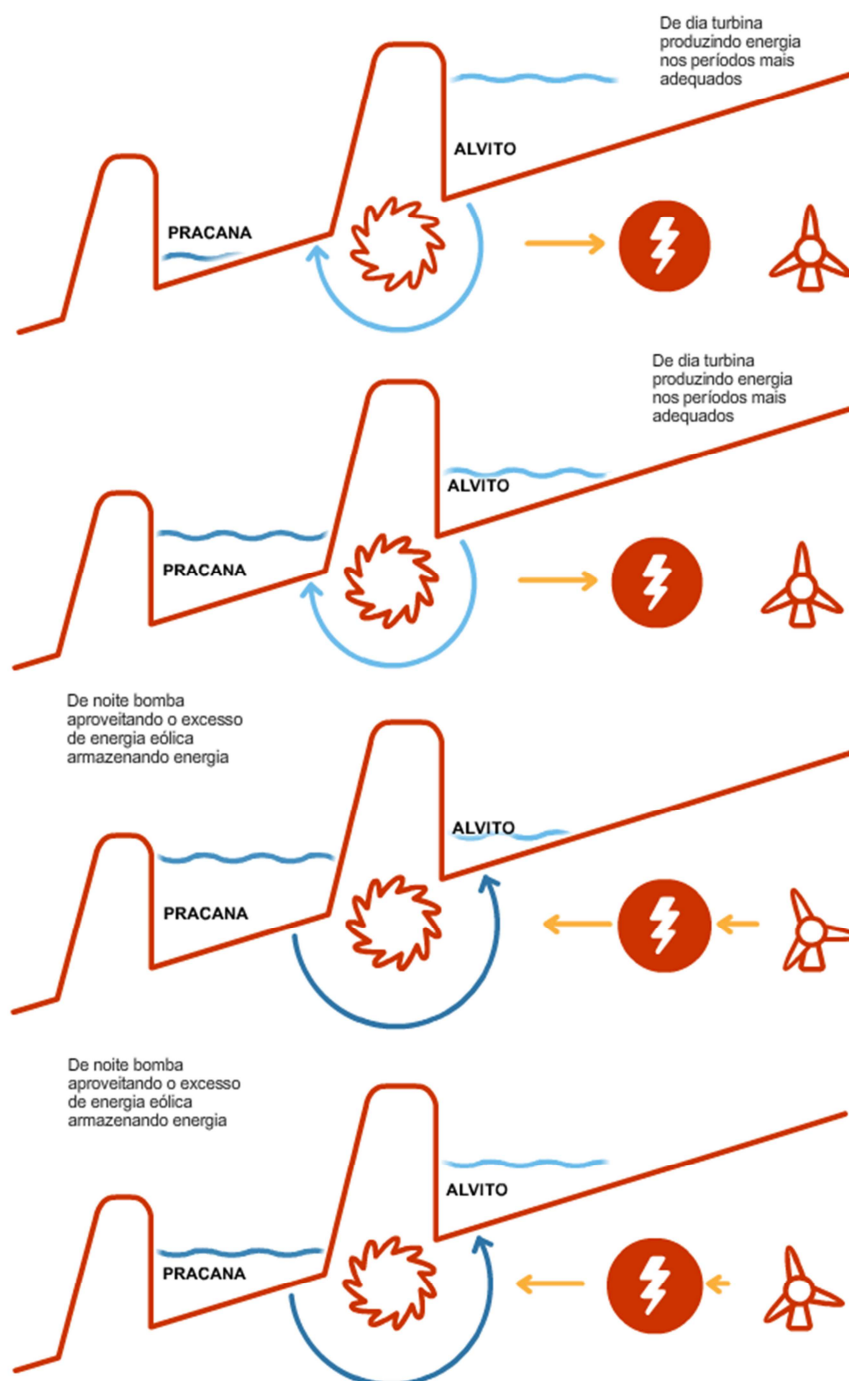
[http://www.ewea.org/fileadmin/ewea\\_documents/documents/publications/reports/Pure\\_Power\\_Full\\_Report.pdf](http://www.ewea.org/fileadmin/ewea_documents/documents/publications/reports/Pure_Power_Full_Report.pdf) (accessed October 5, 2010).

- [11] EDP Renováveis. 2009. Parques eólicos.  
<http://www.edprenovaveis.com/OurProjects/WindTechnology/WindFarms> (accessed October 2, 2010)
- [12] ENEOP (Eólicas de Portugal). 2009. A energia eólica em Portugal.  
[http://www.eneop.pt/subcanais\\_n1.asp?id\\_subcanal\\_n1=171&id\\_canal=110](http://www.eneop.pt/subcanais_n1.asp?id_subcanal_n1=171&id_canal=110) (accessed October 5, 2010).
- [13] Portal da Energia. 2008-2010. Os maiores parques eólicos do mundo.  
<http://www.portal-energia.com/os-maiores-parques-eolicos-do-mundo/> (accessed October 4, 2010)
- [14] EDP (Energias de Portugal). 2010. Complementaridade Hídrica-Eólica  
[http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros\\_produtores/complementariedade\\_hidroeolica\\_he.php](http://www.a-nossa-energia.edp.pt/centros_produtores/complementariedade_hidroeolica_he.php). (accessed October 7, 2010)
- [15] NREL (National Renewable Energy Laboratory). 2010. Hydrogen and Fuel Cells Research. [http://www.nrel.gov/hydrogen/proj\\_wind\\_hydrogen.html](http://www.nrel.gov/hydrogen/proj_wind_hydrogen.html) (accessed October 4, 2010).
- [16] Kidwind.(no date available). Hydrogen Fuel Cells and Wind Power.  
[http://www.kidwind.org/PDFs/SUPPORT\\_Fuelcellsv2.pdf](http://www.kidwind.org/PDFs/SUPPORT_Fuelcellsv2.pdf) (accessed October 10, 2010).
- [17] Portal da Energia. 2008-2010. Células de Combustível – Como Funcionam?.  
<http://www.portal-energia.com/celulas-de-combustivel-como-funcionam/> (accessed October 8, 2010).

# 10. Anexos

## 10.1. Anexo I

Esquema explicativo do funcionamento de um sistema de bombagem hidroeléctrica alimentado a energia eólica. [14]



## 10.2. Anexo II

### Funcionamento de uma pilha de combustível a hidrogénio

O funcionamento desta tecnologia consiste na existência de dois eléctrodos, um positivo (cátodo), outro negativo (ânodo), um electrólito (responsável pela transferência de protões do ânodo para o cátodo, ou vice-versa) e um catalisador para que as reacções electroquímicas se processem de forma mais rápida.

O hidrogénio é reduzido na parte negativa da célula com auxílio de um catalisador (platina), ocorrendo a produção de dois electrões e dois protões  $H^+$ . Esses mesmos electrões são transportados ao longo de um circuito, onde o seu movimento leva a produção de energia eléctrica que irá ser distribuída ao longo da rede. Os protões formados são transferidos, através do electrólito, do ânodo para o cátodo e aceites pelo oxigénio. Esta última substância irá também receber os electrões provenientes do circuito eléctrico e haverá a formação de vapor de água. [17]