

# Microprodução com Sistemas Fotovoltaicos e Eólicos

## Análise de Rentabilidade Económica e de Impactos no Sistema Eléctrico

André Agostinho<sup>1</sup>, Humberto Jorge<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores  
Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra  
Pólo II – Pinhal de Marrocos, 3030-290 Coimbra (Portugal)  
Telef: +351 239796200, fax: +351 239796247, e-mail: [agla@sapo.pt](mailto:agla@sapo.pt), [hjorge@deec.uc.pt](mailto:hjorge@deec.uc.pt)

**Resumo.** Neste trabalho faz-se uma análise de rentabilidade económica para os promotores da microprodução de energia eléctrica em Portugal, através de sistemas fotovoltaicos, eólicos e mistos. Além disso, é feita também uma análise de impacto da microprodução tanto a nível económico como na produção global de energia eléctrica para consumo. Este estudo tem como base a actual legislação que trouxe um novo ânimo a esta actividade, relativamente à taxa de adesão da microprodução e à respectiva influência desta nas tarifas de referência a aplicar aos microprodutores.

### Palavras-chave

Microprodução, Sistemas Fotovoltaicos, Sistemas Eólicos, Remuneração, Impactos.

## 1. Introdução

Portugal tem-se revelado como um país onde as políticas energéticas têm um papel importante nomeadamente na adopção de fontes de energia renovável para produção de energia eléctrica. Com a entrada em vigor da actual legislação (Decreto-Lei nº363/2007, de 2 de Novembro) a microprodução tornou-se numa actividade mais apelativa, nomeadamente em termos de remuneração da energia vendida à rede pelo microprodutor. Este diploma prevê dois regimes remuneratórios para os produtores/consumidores, o regime geral, em que o preço de venda da energia à rede pública é igual ao preço por kWh da tarifa regulada aplicável pelo Comercializador de Último Recurso e o regime bonificado que é aplicável a unidades de microprodução com potência de ligação até 3,68 kW que utilizem fontes de energia renováveis. Contudo, para se estar abrangido por este regime existe necessidade de cumprimento de certas condições. Este regime prevê uma tarifa de referência para a energia vendida à rede de 650€/MWh, para os primeiros 10 MW de potência instalada em microprodução. A cada 10 MW instalados a tarifa decresce 5%. A potência instalada tem um máximo anual de 10 MW para o ano 2008 e este valor aumenta anual e sucessivamente em 20%. A tarifa aplicada é diferente para cada tipo de tecnologia de produção, sendo de 100% da tarifa de referência para a solar fotovoltaica e 70% da tarifa de referência para a eólica e nos casos de

sistemas mistos (solar fotovoltaica + eólica) é aplicada uma fórmula especificada no Decreto-Lei. De realçar que a tarifa aplicada no ano 0 (ano de início de produção) se vai manter por mais cinco anos, findo estes será aplicada a tarifa de referência em vigor. É com base nestes pressupostos que se realizaram as análises propostas.

## 2. Ligação dos Microprodutores à Rede Eléctrica de Serviço Público

Para a ligação de um microprodutor à Rede Eléctrica de Serviço Público (RESP) é necessária a instalação de alguns componentes de modo a que o sistema funcione de acordo com o previsto no Decreto-Lei nº 363/2007, como está ilustrado na Fig.1 para o caso de instalações com tecnologia solar fotovoltaica.

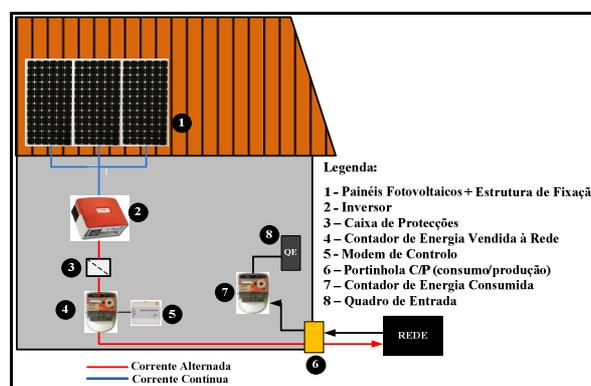


Fig.1. Sistema de microprodução fotovoltaico com ligação à rede pública.

Todos estes componentes têm de obedecer à normalização imposta pela Direcção Geral de Energia e Geologia (DGEG), de maneira a que a instalação esteja apta a produzir e injectar na RESP [1]. A principal diferença entre as instalações solares fotovoltaicas e as eólicas encontra-se no inversor, uma vez que este é específico a cada uma.

### 3. Análise de Estudo de Casos

Para a realização das diversas análises efectuadas foi considerado um cenário de adesão à microprodução, com o objectivo de perceber qual o comportamento das tarifas e a sua influência nos investimentos efectuados. Este cenário é caracterizado pela adesão prevista no Decreto-Lei nº 363/2007, que consiste em 10 MW instalados em unidades de microprodução em 2008 e nos anos seguintes o limite é acrescido anualmente em 20% (Fig.2). A Figura 3 ilustra o comportamento esperado das tarifas de referência a aplicar no início de cada ano considerando a adesão prevista no cenário escolhido.

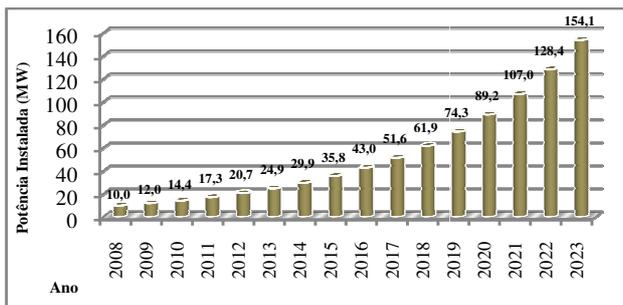


Fig.2. Potência máxima instalada em cada ano.

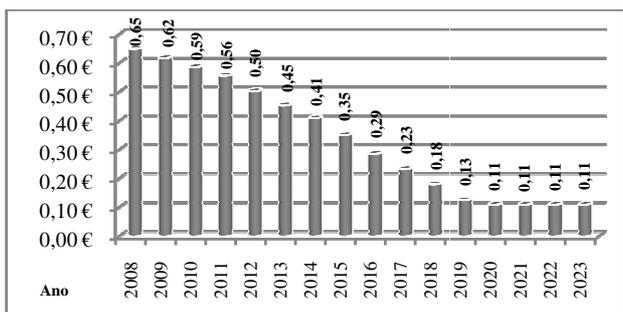


Fig.3. Tarifa de referência (€) no início de cada ano.

#### A. Análise de Rentabilidade Económica

##### 1) Caracterização das simulações

Para a realização da análise de rentabilidade económica foram consideradas as tarifas apresentadas anteriormente bem como o investimento previsto para unidades microprodutoras das diversas tecnologias analisadas. Relativamente ao investimento inicial foram considerados valores de referência diferentes por tecnologia, adoptando-se os valores 5,5€/Wp instalado para os sistemas solares fotovoltaicos e 4,5€/W instalado para sistemas eólicos.

Tabela I. - Dados utilizados nas simulações de sistemas microprodutores solares fotovoltaicos.

<b>Potência do Sistema (kW)</b>	<b>3,68</b>
<b>Investimento Inicial</b>	20.240 € + Taxas
<b>Taxas</b>	250€ + IVA (12%) = 280€
<b>Custo com manutenção</b>	3,68 kW × 50€ = 184€
<b>Nº de meses de produção no ano 0</b>	4 Meses

Tabela II. - Dados utilizados nas simulações de sistemas microprodutores eólicos.

<b>Potência do Sistema (kW)</b>	<b>2,5</b>
<b>Investimento Inicial</b>	11.250 € + Taxas
<b>Taxas</b>	250€ + IVA (12%) = 280€
<b>Custo com manutenção</b>	150€
<b>Nº de meses de produção no ano 0</b>	4 Meses

Para a realização da análise económica foram escolhidas 3 localidades diferentes para cada um dos tipos de tecnologia, situadas em Portugal continental sendo estas Coimbra, Lisboa e Faro para os sistemas fotovoltaicos e Coimbra, Lisboa e Penhas Douradas para os sistemas eólicos, com o objectivo de analisar qual o comportamento dos investimentos relativamente às diferenças verificadas nos níveis de capacidade de produção a partir de fontes renováveis das respectivas localidades. Foram escolhidos estes locais por apresentarem valores de produção distintos. Na tabela III são apresentados esses valores para os diferentes locais, por tecnologia. Estes valores foram obtidos através dos softwares PVSYS® e RETScreen®.

Tabela III. -Produção total de energia anual estimada.

Projectos Fotovoltaicos	Coimbra	Lisboa	Faro
<b>Produção total de energia anual estimada (kWh/ano)</b>	4986	5362	6191
Projectos Eólicos	Coimbra	Penhas Douradas	Faro
<b>Produção total de energia anual estimada (kWh/ano)</b>	4790	9915	6691

##### 2) Resultados obtidos na análise de rentabilidade

Para a realização da análise de rentabilidade foram utilizados indicadores económicos, nomeadamente a Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) de modo a revelar com maior precisão o resultado do investimento. Para esta análise foi utilizada uma base temporal de 15 anos.

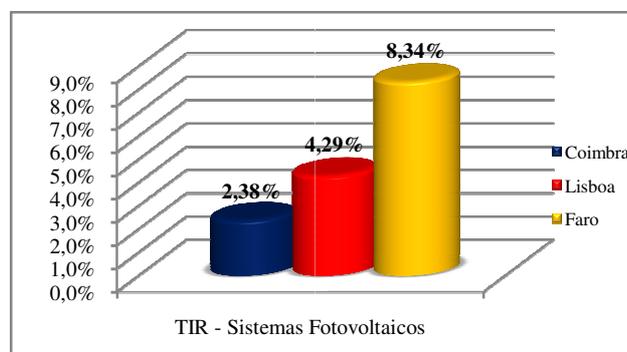


Fig.4. Análise de rentabilidade, sistemas fotovoltaicos.

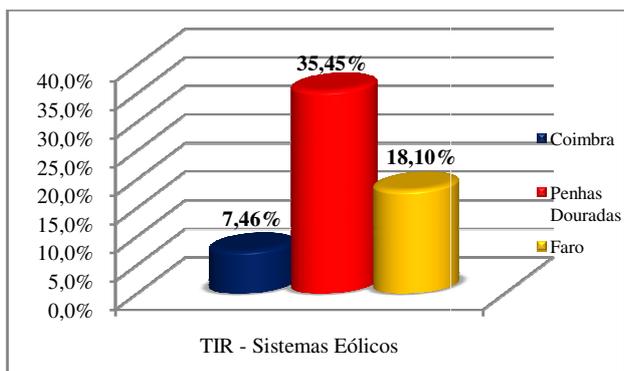


Fig.5. Análise de rentabilidade, sistemas eólicos.

Outro indicador económico também utilizado foi o Período de Retorno do Investimento (PRI) que permite de um modo não tão selectivo como a TIR apreciar o investimento, pois apenas revela a indicação do período de retorno deste e não que proveito é alcançado ao longo do período mais alargado de análise. Os PRI's obtidos para as simulações anteriores estão representados na Tabela IV.

Tabela IV. - PRI's das simulações efectuadas.

	Coimbra	Lisboa	Faro
Sistemas Fotovoltaicos	8 anos e 9 meses	8 anos e 3 meses	6 anos e 6 meses
	Coimbra	Penhas Douradas	Faro
Sistemas Eólicos	7 anos e 2 meses	3 anos e 6 meses	4 anos e 11 meses

Dentro das simulações efectuadas para ambos os tipos de sistemas a cidade de Coimbra é aquela onde se verificam piores resultados, pois é onde se apresentam índices de radiação e velocidade média do vento mais reduzidos. Apesar disso, o investimento numa unidade microprodutora não é uma hipótese a descartar apesar de acarretar consigo maior risco comparativamente com outras localidades.

Para o caso particular dos sistemas fotovoltaicos verifica-se que a cidade de Faro apresenta valores bastante satisfatórios, mesmo considerando a queda acentuada das tarifas de referência ao longo dos 15 anos (Fig.4). O valor de investimento inicial para esta tecnologia é mais elevado, no entanto nesta cidade como existe uma maior radiação solar, por conseguinte uma maior produção anual, consegue superar essa barreira, atingindo-se resultados interessantes, não só para o promotor da microprodução como também para o próprio microprodutor.

Abordando agora os sistemas eólicos estes apresentam valores económicos bastante mais atractivos. A capacidade de produção nas localidades escolhidas é elevado, não só porque apresentam velocidades médias do vento boas, mas também porque são unidades com a capacidade de produzir ao longo de 24h, caso haja vento.

Comparando os dois tipos de sistemas microprodutores, verifica-se que a produção eólica se

torna mais vantajosa que a fotovoltaica, mesmo com tarifas de venda mais reduzidas (70% da tarifa de referência). Essa vantagem advém do forte potencial eólico existente no país e do menor investimento inicial necessário. Contudo, existe uma grande contrariedade para os sistemas eólicos, que é a dificuldade de acondicionar um local adequado para a colocação do aerogerador, sem obstáculos de modo a garantir o rendimento máximo e sem que o seu funcionamento perturbe o ambiente urbano, nomeadamente com o ruído emitido.

Em zonas urbanas o sistema fotovoltaico torna-se mais aconselhado, mas com os elevados preços actualmente praticados, é necessário realizar uma análise cuidada ao investimento tendo em conta o nível de produção previsto para o local da instalação, para que a decisão tomada seja mais sustentada.

### 3) Análise de sensibilidade de produção e rentabilidade de sistemas mistos

O Decreto-Lei nº 363/2007, de 2 de Novembro, prevê a possibilidade de instalação de sistemas de produção de energia eléctrica através da combinação de duas ou mais tecnologias. As tecnologias de produção abordadas são a solar fotovoltaica e a eólica e é com base nestas que são formados os sistemas mistos analisados. Torna-se interessante, elaborar uma análise de sensibilidade de produção e de rentabilidade económica, de modo a perceber qual o peso das duas tecnologias na produção do sistema e na remuneração obtida, uma vez que a combinação de fontes tem a vantagem de mitigar a intermitência de produção das unidades de microprodução através de fontes renováveis diferentes. A tarifa de venda vai depender do *mix* das duas fontes de energias renováveis, eólica e solar. O cálculo da tarifa de referência a aplicar a estes casos é efectuado de acordo com a equação 1 estando os valores de tarifa de venda ( $T_v$ ) directamente dependentes da potência instalada em cada tecnologia.

$$T_v = \frac{LME_{ps}(P_S \times T_R) + LME_{rp}[0,7(T_R \times P_E)]}{LME_{ps}(P_S) + LME_{rp}(P_E)} \quad (1)$$

onde,  $LME_{ps}$ - Limite máximo de electricidade vendida (Produção Solar) (2,4 MWh/ano por kW instalado),  $LME_{rp}$ - Limite máximo de electricidade vendida (Produção Eólica) (4 MWh/ano por kW instalado),  $T_R$  - Tarifa de Referência,  $P_S$ - Potência Solar,  $P_E$ - Potência Eólica.

Esta análise foi efectuada para dois locais já anteriormente visados, Coimbra e Faro e as principais características dos sistemas analisados estão representados na Tabela V. Consideram-se todos os sistemas mistos com uma potência instalada de 3,68 kW, o valor limite para o regime bonificado da legislação.

Tabela V.- Características dos sistemas mistos.

Coimbra e Faro	PS (kW)	PE (kW)	Tarifa de Referência (ano 2009) Cenário A	Investimento Inicial
Sistema 1	1,00	2,68	0,47€	17.780€
Sistema 2	1,68	2,00	0,50€	18.520€
Sistema 3	1,88	1,8	0,51€	18.720€
Sistema 4	2,00	1,68	0,51€	18.840€
Sistema 5	2,68	1,00	0,55€	19.520€

Legenda: PS – Potência Solar; PE – Potência Eólica

Sendo que a tarifa de referência mais elevada se aplica à tecnologia solar fotovoltaica a tarifa de venda aplicada a um sistema misto é tanto maior quanto maior for a potencia solar instalada. Assim, para o sistema 1, o valor calculado para a tarifa de referência no início de 2009, no cenário de análise, é de 0,47 €/kWh. Comparando este valor, com o valor de 0,434€/kWh (correspondente a 70% de 0,62€/kWh) aplicado a um sistema somente eólico com uma potência instalada de 2,5 kW, tal como os sistemas simulados anteriormente na análise de rentabilidade, verifica-se que com o sistema misto se obtém uma tarifa, aproximadamente 0,04 € superior.

No sistema 5, onde a potência instalada é oposta à do sistema 1, acontece a situação oposta à relatada anteriormente. Neste sistema, onde a maior fatia pertence à tecnologia solar fotovoltaica, não compensa de modo algum a instalação de um sistema misto, porque a presença da potência eólica provoca uma redução na tarifa de venda a aplicar, uma vez que mesmo sendo um local muito ventoso, o 1 kW instalado dificilmente compensará a queda da tarifa verificada (0,62 €/kWh para 0,55 €/kWh). Com base nos dados revelados anteriormente e nos valores de produção obtidos por cada tecnologia em cada sistema, são apresentados os valores da análise de rentabilidade e sensibilidade de produção destes sistemas.

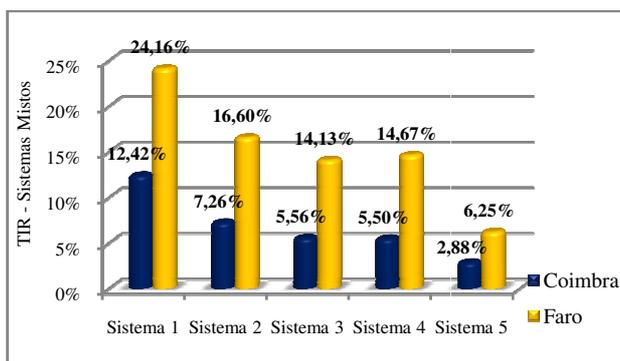


Fig.6. Análise de rentabilidade, sistemas mistos.

Analisando e comparando os resultados obtidos na Figura 6 conclui-se rapidamente que o investimento nestes sistemas na cidade de Faro é mais atractivo que na cidade de Coimbra. O motivo é a capacidade de produção através das duas fontes ser mais elevada na cidade de Faro. Dentro dos 5 sistemas mistos definidos para análise

conclui-se que o sistema 1 é o que mais rendimento dá ao microprodutor, uma vez que a sua repartição de potências (Tabela V) se encontra de uma forma mais favorável. Apesar de apresentar a tarifa de venda mais baixa, porque tem pouca potência solar fotovoltaica instalada, o que faz reduzir a tarifa de venda a aplicar, por sua vez tem a melhor potência eólica instalada (2,68kW), ou seja, uma potência ligeiramente superior à simulada para os sistemas só com tecnologia eólica, que provoca uma produção total do sistema superior a qualquer outro uma vez que a capacidade eólica da região em questão é muito boa (zona costeira).

Comparando os sistemas mistos com os sistemas de uma só tecnologia, conclui-se que qualquer dos sistemas mistos apresenta melhores taxas de rentabilidade que as unidades solares fotovoltaicas para a cidade de Coimbra. Para Faro apenas o Sistema 1 supera a taxa de rentabilidade obtida para um sistema unicamente eólico.

Comparando com os sistemas eólicos a taxa de rentabilidade destes só é superada para a cidade de Coimbra pelo sistema 1 e 2, e para Faro apenas superada pelo sistema 1.

Conclui-se então que os sistemas mistos, principalmente o sistema 1, são uma boa hipótese de implementação, com maior risco de investimento para a cidade de Coimbra, e ainda com a vantagem de serem sistemas que produzem de uma forma mais contínua, correspondendo assim a uma remuneração também mais contínua.

### B. Impactos da Microprodução no Sistema Eléctrico

Este estudo do impacto da microprodução tem uma base temporal de 10 anos. Para a sua elaboração foi utilizado o cenário de adesão à microprodução anterior e foi criado um cenário de instalações que nos parece ser o mais realista, onde se consideram 80% de instalações fotovoltaicas e 20% de instalações eólicas. É considerado que todas as instalações têm um valor de potência igual a 3,68kW, ou seja o máximo permitido pelo regime bonificado. A partir deste dado e da adesão prevista na Figura 3, foi calculado o número de unidades microprodutoras instaladas por ano, de 3,68kW, para o cenário A (Fig.7).

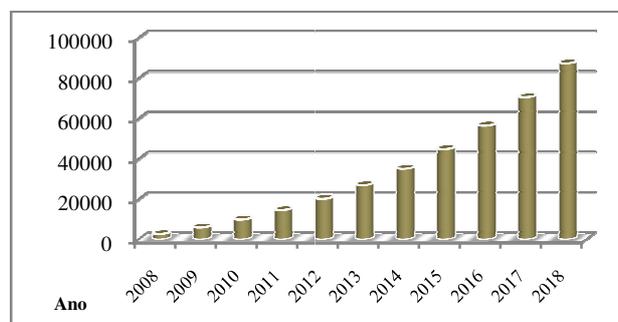


Fig.7. Número de unidades microprodutoras de 3,68kW instaladas por ano.

### 1) Impacto económico

Em termos económicos, o impacto da microprodução é calculado com base na remuneração efectuada aos microprodutores pela energia vendida à rede pública, prevista pela actual legislação (Decreto-Lei nº363/2007) e nos preços de mercado que remuneram as produções em regime geral.

Com base na produção estimada por cada instalação e no número de instalações previstas (Fig.7) foram calculados os valores da remuneração efectuada aos microprodutores e comparados com os valores da compra, no mercado de energia, de energia eléctrica equivalente à produzida pela microprodução. O MWh na microprodução, para o regime bonificado, tem uma tarifa de referência inicial de 650 €/MWh (tecnologia solar fotovoltaica) seguindo a tendência apresentada na Figura 3 e o preço médio praticado no mercado grossista foi estimado em 70 €/MWh, segundo dados de mercado, ou seja, quase 9,5 vezes menor. Não é fácil considerar um valor uma vez que as tarifas de venda no mercado de energia têm uma forte dependência do preço do petróleo, e a instabilidade nessa área é uma constante.

Para o cenário de instalações escolhido foi considerado um nível médio de produção anual de 6000 kWh por unidade microprodutora.

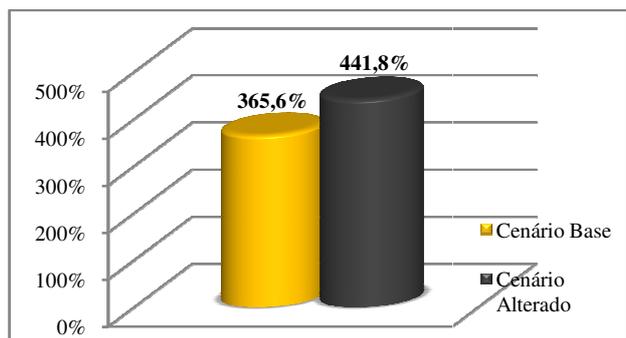


Fig.8. Remuneração bonificada, no período de 10 anos, referida a valores de mercado para o cenário de instalações 80% fotovoltaicas e 20% eólicas.

O valor percentual de 365,6% do cenário base indica que a remuneração bonificada é mais de 3,6 vezes superior ao custo da mesma quantidade de energia produzida em 10 anos, se esta fosse remunerada ao preço de mercado. Ou seja, compra-se energia a um custo muito mais elevado por kWh.

De modo a podermos ter uma base de comparação na análise ao impacto económico foi considerado um novo cenário (cenário alterado) de adesão à microprodução, onde existe uma taxa de crescimento da adesão de 15% ao ano (considerando no ano 2008 uma potência instalada de 10 MW), ou seja um valor 5% inferior ao estipulado para o cenário base. Caso a adesão não corresponda ao cenário inicialmente traçado e considerando o cenário alterado, este impacto económico vai ser agravado, pois uma menor adesão traduzir-se-ia num decréscimo menos acentuado dos valores de referência verificados na Figura

4, ou seja, existiriam menos instalações e o valor remunerado ao abrigo do regime bonificado seria mais elevado do que o obtido para o cenário base. Assim sendo, apesar dos custos globais com a energia remunerada serem menores, iriam ser comprados menos kWh a um preço maior por kWh.

Conclui-se então que no cenário base o custo médio por kWh comprado aos microprodutores é o mínimo valor atingível, uma vez que o cenário usado corresponde à máxima potência instalada defenida pela legislação, ou seja, quanto maior for a adesão à microprodução menor será o custo médio por kWh comprado aos microprodutores.

### 2) Impacto na produção global de energia

Após a análise do impacto económico, é seguidamente apresentada uma análise de impacto da microprodução na produção de energia eléctrica para consumo em Portugal. Para a sua realização foi novamente utilizado o número de instalações de microprodução (de potência 3,68 kW). O cenário de instalações vai continuar a ser utilizado, uma vez que são utilizados os valores da produção média anual dos microprodutores.

O valor da produção total de energia eléctrica através de unidades microprodutoras, com base nos cenários escolhidos, de 2008 a 2018 é de 2.248.435 MWh. A análise de impacto na produção total de energia é efectuada comparando o valor apresentado anteriormente, com a produção anual de energia eléctrica para consumo em Portugal. O valor da produção anual para consumo foi obtido com base em dados fornecidos pela DGEG, onde no ano de 2007 foi de aproximadamente 48 Tera Watt horas (TWh). Considerou-se uma taxa de evolução de consumo/produção de energia eléctrica anual de 5%, considerando que em 2008 o consumo foi de aproximadamente 50 TWh. [2]

Verifica-se então pelo gráfico representado na Figura 9 que as unidades de microprodução contribuem com percentagens que se situam entre os 0,07% em 2009 e os 0,7% em 2018, ou seja, um crescimento de aproximadamente 10 vezes em 9 anos.

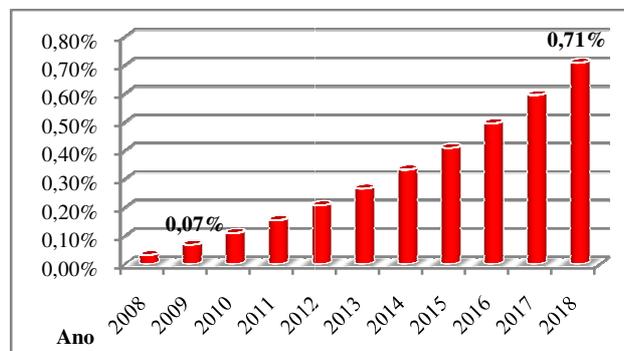


Fig.9. Percentagem do impacto da microprodução na energia produzida para consumo de 2008 a 2018.

Pelo andamento do gráfico (Fig.9) verifica-se que a participação da microprodução na globalidade da produção pode tomar valores razoáveis, uma vez que a taxa de crescimento é elevada. Todo o impacto que se possa sentir com a microprodução na fatia global de produção está directamente ligado ao número de unidades microprodutoras instaladas. Os dados apresentados demonstram que a microprodução terá nos próximos 10 anos um impacto no Sistema Eléctrico Nacional reduzido, no entanto, a taxa de crescimento expectável é grande (20% ao ano). O valor de 0,71% obtido nesta análise toma uma importância mais relevante se atendermos ao facto de que estas unidades microprodutoras estão interligadas à rede de baixa tensão, ou seja, considerando que o consumo em BT é de aproximadamente 50% do consumo global de energia eléctrica, então os 0,71% significam que a microprodução tem um impacto esperado para 2018 de 1,42% para a rede de BT, um valor razoável.

Apesar de no âmbito geral os valores serem reduzidos, é importante realçar que a microprodução, tal como o nome indica, é um processo de produção de energia em centrais de baixa potência. A microprodução é uma pequena ajuda na integração das energias renováveis em Portugal, contudo, as grandes centrais que usam fontes de energia renovável é que são as principais responsáveis para que o consumo de energia dependa cada vez mais destas.

#### 4. Considerações Finais

Após a realização do estudo dos diversos casos propostos, são algumas as considerações que se podem fazer. Apesar dos incentivos disponíveis para a microprodução de electricidade através de fontes de energia renovável, nomeadamente o atractivo valor a que foi fixada a tarifa de referência para 2008 (650 €/MWh), ainda é necessário criar condições de modo a que o valor do investimento em microprodução seja mais baixo e assim oferecer menor risco e maior rentabilidade. Os valores obtidos para os períodos de retorno e para as taxas de rentabilidade, não se mostraram tão satisfatórios,

quanto o desejado, principalmente para sistemas fotovoltaicos e localidades em que os níveis de produção são médios. O mercado de instalação de sistemas de microprodução terá que rapidamente sofrer ajustamentos, nos preços demasiado elevados dos sistemas microprodutores, funcionando como barreira à adesão da microprodução. Esse ajuste está a ocorrer a um nível reduzido sendo expectável que se intensifique brevemente. Uma política semelhante à portuguesa, foi igualmente adoptada em Espanha, contudo os valores dos registos verificados, foram e continuam um sucesso. Este fenómeno deve-se essencialmente ao menor custo na instalação de sistemas microprodutores, o que tem levado a uma adesão significativa. Relativamente aos impactos económicos da microprodução conclui-se que a 10 anos estes são elevados, mas tenderiam a piorar caso a adesão decrescesse, contudo tem de se considerar que são parte integrante de um esforço das entidades responsáveis para a implementação de sistemas de produção de energia em pequena escala. No que respeita ao impacto da microprodução na produção global de energia para consumo, este não é muito elevado para o Sistema Eléctrico Nacional, apenas cerca de 0,71% do total de produção, no entanto, a sua taxa de crescimento expectável é grande tendo em conta que se tratam de sistemas interligados com a rede de Baixa Tensão.

#### Referências

[1] Renováveis na Hora (Ministério da Economia), “ Guia para a certificação de uma unidade de microprodução”, Versão 1, Março 2008.

[2] Energias de Portugal - EDP  
<http://www.edp.pt/EDPI/Internet/PT/Group/AboutEDP/BusinessUnits/ElectricityDistribution/DistElectPT.htm> (14-04-2009)

[3] Castro, Rui, “Introdução à Energia Fotovoltaica”, Energias Renováveis e Produção Descentralizada, DEEC / Secção de Energia, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.

[4] Traça, Aníbal, “Planeamento e Produção de Energia Eléctrica”, Instituto de Sistemas e Robótica, Universidade de Coimbra, 2004.