

Sistemas Híbridos Fotovoltaico / Eólico para Electrificação de Micro-Redes

**Cláudio Mesquita ⁽¹⁾, Joaquim Almeida ⁽¹⁾, Rui Castro ⁽¹⁾
Susana Viana ⁽²⁾, Carlos Rodrigues ⁽²⁾, António Joyce ⁽²⁾**

⁽¹⁾ IST – Instituto Superior Técnico / Universidade Técnica de Lisboa
CEEL – Centro de Energia Eléctrica
Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa
rcaastro@ist.utl.pt

⁽²⁾ INETI – Instituto Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial
DER – Departamento de Energias Renováveis
Estrada do Paço Lumiar, 22, 1649-038 Lisboa
antonio.joyce@ineti.pt

Resumo

O presente trabalho incide sobre o funcionamento de um sistema híbrido de produção de energia eléctrica, instalado no Campus do Lumiar do INETI. Este sistema utiliza apenas recursos renováveis, o solar e o eólico, e a sua instalação visou estudar o fornecimento de energia eléctrica a vários consumidores de uma micro-rede, através da simulação de diferentes configurações do perfil de cargas.

Foram monitorizadas as grandezas relativas ao funcionamento do sistema e dos recursos renováveis disponíveis.

Apresentam-se alguns dos resultados obtidos e, em particular, a análise do comportamento do sistema híbrido para diferentes diagramas de carga, por forma a verificar a importância decisiva dos equipamentos de controlo e gestão da energia disponível no bom funcionamento do sistema.

Palavras-chave: Fotovoltaico; Eólico; Micro-redes; Electrificação

1. Introdução

A União Europeia aprovou em Outubro de 2001 a Directiva 2001/77/CE relativa à promoção da electricidade produzida a partir de fontes renováveis de energia. Esta Directiva, conhecida como Directiva das Renováveis, aponta para Portugal um objectivo de penetração das energias renováveis para o ano de 2010 correspondente a 39% no total do consumo bruto de electricidade. Mais recentemente, em Portugal, a Resolução do Conselho de Ministros n.º 63/2003 enuncia as metas indicativas para a instalação de fontes de energia renováveis até 2010, referindo, por exemplo, os valores de 150MW e 3750MW de potência instalada em aproveitamentos de energia fotovoltaica e eólica, respectivamente.

Em conformidade, espera-se um aumento considerável no número e na potência de instalações de produção de energia eléctrica que usam recursos renováveis como fonte primária, designadamente de origem solar e eólica.

Os sistemas fotovoltaicos podem ser operados de duas formas: i) ligados à rede de energia eléctrica, à qual entregam toda a energia que a radiação solar lhes permite produzir; ii) em sistemas autónomos, alimentando directamente cargas isoladas. Neste último caso, podem ser usados como a única fonte de energia disponível, ou em conjunto com outros conversores de energias renováveis, por exemplo, o eólico, por forma a minimizar a energia não fornecida. Em geral, existe também um meio de produção convencional, normalmente o gerador diesel, para apoio e reserva.

2. Descrição do Sistema

O sistema híbrido em estudo neste trabalho está em funcionamento no Departamento de Energias Renováveis (DER) do INETI, sendo constituído por um aerogerador com potência de 750W e um painel fotovoltaico de 530W de pico, num total de 1.3kW. Ligados à tensão contínua de 24V estão: 2 reguladores de carga, um para o recurso fotovoltaico e outro para o recurso eólico (inclui um rectificador), um banco de 12 baterias estacionárias de 2V, com uma capacidade C100 de 550Ah e um inversor de 1200W que alimenta a micro-rede em CA.

A micro-rede distribui a energia por 3 utilizadores cujo consumo é simulado recorrendo a interruptores horários digitais que controlam a ligação das cargas. O consumo dos utilizadores é controlado por dispensadores de energia, em termos de energia e potência. Na monitorização são recolhidos a corrente de carga das baterias, as corrente à saída do regulador fotovoltaico e do regulador eólico, a tensão das baterias, as temperatura ambiente e das células fotovoltaicas e a radiação solar e a velocidade do vento. Na Fig. 1 representa-se o esquema geral da instalação.

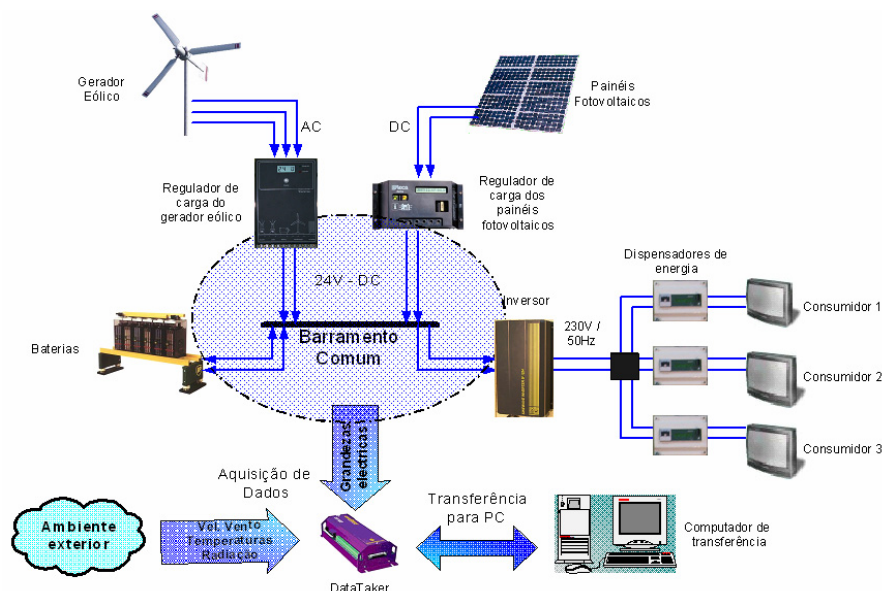


Fig. 1 – Sistema híbrido e equipamento de aquisição adjacente

2.1 Actuação dos Dispensadores

O dispensador de energia gere, de forma inteligente, os consumos individuais de energia, através da utilização de uma FEDI - Ficha electrónica de Energia Disponível Individual. Esta ficha é inserida no dispensador e contém, em memória, a potência máxima

e a energia à disposição de cada utilizador, evitando que um utilizador consuma toda a energia disponível, prejudicando, assim, os outros utilizadores.

A Fig. 2 ilustra um exemplo do funcionamento deste equipamento. Quando a reserva de energia para um dos consumidores foi esgotada, o dispensador actuou de forma a cortar a alimentação; o sistema passa, a partir daí, a alimentar apenas dois consumidores.

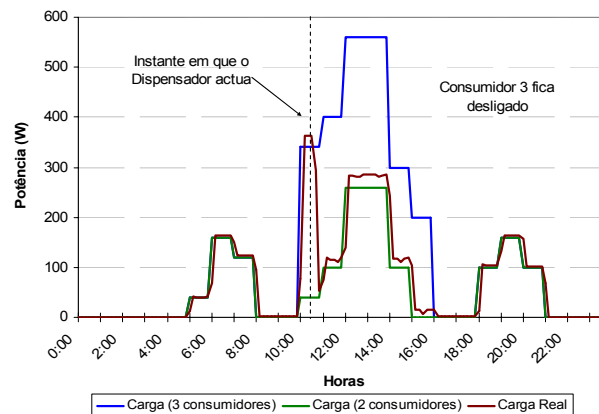


Fig. 2 – Actuação do dispensador (09/03/2003)

2.2 - Actuação dos Reguladores de Carga Fotovoltaico e Eólico

Há necessidade de regular a entrada e saída de energia da bateria de forma a prolongar o seu tempo de vida útil. A principal função dos reguladores de carga é evitar a sobrecarga do banco de baterias, actuando directamente sobre as fontes de energia renovável, de modo a não ser ultrapassado um nível crítico de tensão pré-definido. Os reguladores de carga podem ainda evitar descargas profundas da bateria, desligando a carga em excesso que estiver conectada no momento.

2.3 - Actuação do Inversor

Nos sistemas isolados, o inversor está ligado directamente ao banco de baterias por forma a permitir maior potência de consumo, pelo que, neste caso, o inversor incorpora também a função de desligar o consumo para evitar a descarga profunda das baterias.

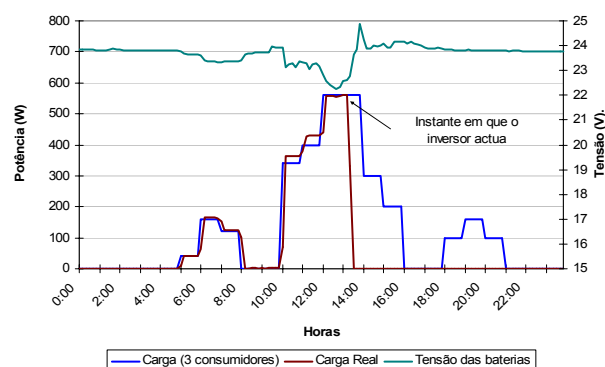


Fig. 3 – Actuação do inversor (07/02/2003)

Na Fig. 3 mostra-se a actuação do inversor numa situação em que, devido ao baixo estado de carga das baterias, a tensão atingiu o seu valor crítico (22.2V), o que forçou a desligação de todos os consumidores, por actuação do inversor.

3. Recursos do Sistema Híbrido

A produção de energia eléctrica nos módulos fotovoltaicos dependente principalmente de duas variáveis, a radiação solar e a temperatura das células dos módulos.

A Tabela I apresenta os valores médios mensais da irradiação diária medidos no plano dos módulos (45° de inclinação) ao longo dos meses em que decorreu o estudo. Verifica-se que esta grandeza variou entre um mínimo de 2.19 kWh/m² em Dezembro 2002 e um máximo de 6.48 kWh/m² em Maio 2003. A mesma tabela apresenta ainda os valores médios mensais da temperatura ambiente, *Tamb*.

TABELA I – MÉDIAS DA IRRADIAÇÃO DIÁRIA E TEMPERATURA AMBIENTE

	2002		2003											
	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Irradiação [kWh/m ²]	3.10	2.19	3.97	3.45	4.46	4.74	6.48	5.78	6.09	5.80	5.19	4.36	2.66	3.18
Tamb [°C]	13.0	12.9	10.7	11.1	13.8	14.6	18.5	21.3	21.8	29.6	30.5	16.9	12.8	10.4

Quanto ao recurso eólico, o local onde se encontra o aerogerador não é indicado para o aproveitamento desta forma de energia. Na realidade, nas proximidades existem árvores e edifícios que provocam perturbações no escoamento e reduzem as velocidades médias do vento. Apresenta-se, na Fig. 4, como exemplo, a frequência de ocorrência das velocidades médias do vento obtidas no mês de Dezembro de 2002.

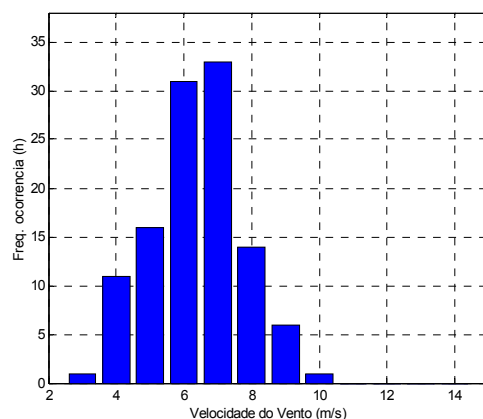


Fig. 4 – Frequência de ocorrência das velocidades médias do vento em Dezembro de 2002

4. Comportamento do Sistema para Diferentes Diagramas de Carga

Foi estudado o comportamento do sistema com três utilizadores diferentes, tantos quantos os dispensadores disponíveis, utilizando como carga as combinações de um conjunto de lâmpadas, incandescentes e fluorescentes, de várias potências.

Os diagramas de carga utilizados procuram reproduzir o consumo de utilizadores tipo a quem este sistema se destina, ou seja, pequenas casas de habitação com baixas necessidades de potência e consumos reduzidos.

Nos primeiros três meses de ensaio (Nov., Dez., Jan.), utilizou-se o diagrama de carga I, Fig. 5, que visa simular uma distribuição de carga com maior incidência entre as 18 e as 22 horas, com um consumo diário de 1296Wh e uma potência máxima de 222W.

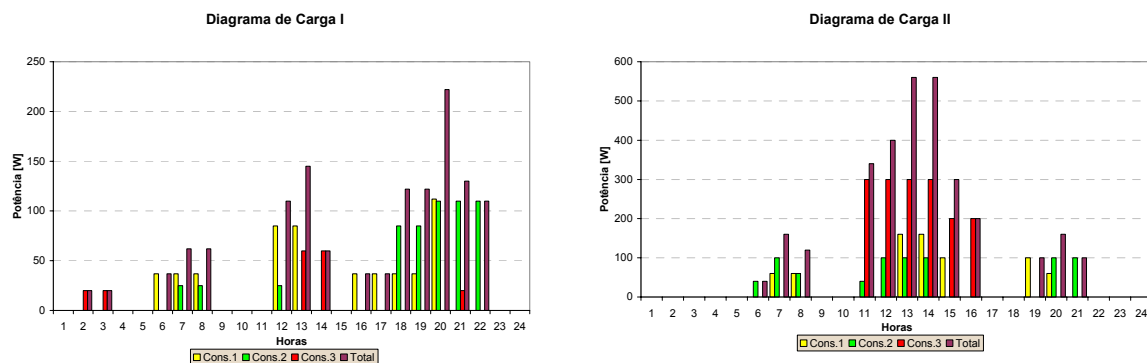


Fig. 5 – Diagramas de carga

A partir de Fevereiro utilizou-se o diagrama de carga II, Fig. 5, com o intuito de testar o sistema sob condições mais adversas, com um consumo diário de 3040Wh e uma potência máxima de 560W. Este diagrama inclui um consumidor que esgota rapidamente a sua reserva de energia, desencadeando a actuação dos sistemas de gestão, de modo a validar a sua fiabilidade numa utilização mais próxima da realidade.

Comparando a energia produzida pelos dois recursos renováveis, Fig. 6, é possível verificar que neste local o recurso solar é aquele que assegura a maior parte do fornecimento de energia eléctrica, tendo a maior produção de energia ocorrido nos meses em que se implementou o diagrama de carga II.

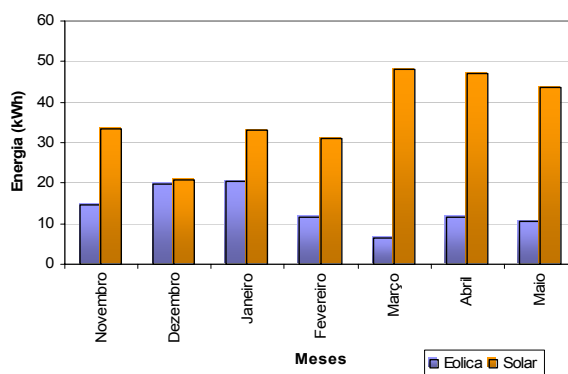


Fig. 6 – Comparação entre a energia produzida pelo recurso fotovoltaico e eólico em cada mês

Um sistema híbrido isolado, deve satisfazer o consumo dos utilizadores, produzindo em média, com os recursos disponíveis, esta energia e as perdas nos componentes do sistema e linhas de transporte. A energia produzida pelo sistema depende da energia consumida, porque quando as baterias estão completamente carregadas não armazenam mais energia ainda que esta esteja disponível. Assim, o sistema, no diagrama II, pode produzir mais energia, do que no diagrama I, para a mesma disponibilidade de recursos.

Em geral, o recurso solar, apesar de mais regular que o eólico, é pouco abundante em Dezembro e Janeiro. A análise do balanço diário de energia nas baterias, Fig. 7 a), e da produção de energia por recurso, Fig. 7 b), ao longo do mês de Dezembro, permite concluir que o sistema eólico é fundamental para carregar as baterias. Nos dias 17 e 27 a sua contribuição foi de quase 50% da capacidade útil da bateria (~ 5 kWh).

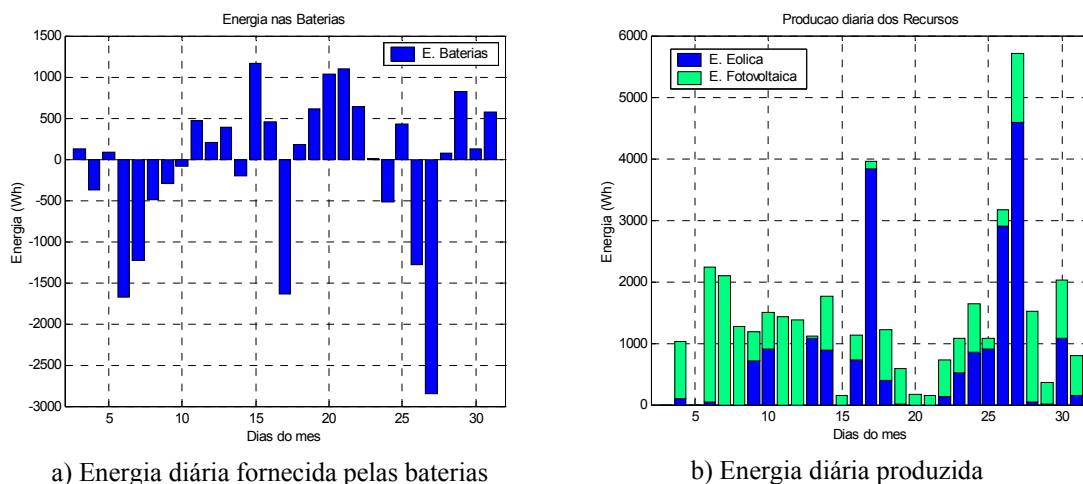


Fig. 7 – Energia no sistema durante o mês de Dezembro de 2002

5. Conclusões

O dimensionamento dum sistema híbrido, com a optimização do aproveitamento de cada recurso, só é possível recorrendo a simulações, com valores médios horários dos recursos locais e dos diagramas de carga previstos, e considerando os custos dos equipamentos das várias soluções. Neste sistema, apesar do local ser pouco propício à instalação de aproveitamentos eólicos e de se verificar que o recurso solar assegura a maior parte do consumo, o gerador eólico permite carregar as baterias quando o recurso solar não está disponível, contribuindo para a fiabilidade do sistema e satisfação dos utilizadores.

Por forma a garantir o bom funcionamento do sistema numa micro-rede é crucial um desempenho correcto dos sistemas de controlo e gestão da energia, nomeadamente os dispensadores de energia, que garantem a equidade da distribuição de energia pelos vários utilizadores, evitando excessos de consumo, prejudiciais ao bom funcionamento global.

As características e valores medidos do sistema híbrido apresentado neste artigo, estão disponíveis *on-line* em <http://mega.ist.utl.pt/~cmom/paginaSHI/>.

Referências

- [1] C. Mesquita, J. Almeida, *Sistemas Híbridos Fotovoltaico/Eólico para Electrificação de Micro-Redes*, Trabalho Final de Curso, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Junho de 2003.
- [2] C. Rodrigues, *Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos*, Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico, Lisboa, Maio de 1996.
- [3] *Fundamento, Dimensionado y Aplicaciones de la Energia Solar Fotovoltaica*, Serie Ponencias, Editorial CIEMAT, Madrid, 2000.