

O uso conjunto das energias eólica e solar-fotovoltaica para abastecimento de energia eléctrica a povoações isoladas

M. ISABEL DO CARVALHAL TELES

Eng. Elect. (U. P.)

Assistente (F. C. T. U. C.)

A. TRAÇA DE ALMEIDA

Eng. Elect. (U. P.), PhD (Imp. College)

Prof. Agregado (F. C. T. U. C.)

resumo

Para o abastecimento de energia eléctrica a pequenas povoações isoladas é proposto o uso de centrais eólicas-fotovoltaicas. Usando o método de Monte Carlo são efectuadas simulações ao longo de 50 anos para diversos tipos de combinações de potências eólicas e fotovoltaicas.

1. Introdução

A actual crise energética, que se traduz na escassez e elevado custo dos combustíveis fósseis bem como nos problemas de segurança associados às centrais nucleares, tem produzido um interesse crescente nas energias renováveis. Devido ao considerável investimento que é necessário efectuar, existe um grande número de pequenos aglomerados populacionais situados em locais isolados que não se encontram ligados à rede de distribuição eléctrica. A utilização das energias renováveis pode assim aparecer como possível alternativa, apresentando contudo a necessidade de um elevado investimento inicial que não só inclui os conversores de energia mas também a armazenagem

abstract

A study is made concerning the combined use of solar photovoltaics and wind power to supply electricity to remote villages in the North of Portugal. Different percentages of the two sources were simulated to evaluate the storage capacity required.

necessária para cobrir as deficiências de produção. O uso de uma central mista eólica-fotovoltaica pode contribuir para uma redução significativa da capacidade de armazenagem, devido à complementaridade existente entre as distribuições das energias solar e eólica, na maioria dos locais em Portugal. É apresentado um estudo sobre o efeito de diferentes percentagens de conversores eólicos e fotovoltaicos na armazenagem necessária.

2. Electrificação rural em Portugal

Uma das realizações propostas, de necessária e urgente execução dentro duma política de desenvolvi-

mento sócio-económico de Portugal, é o da total cobertura em superfície do País em termos de electrificação. Da análise dos dados estatísticos de 1975 [2] e de 1976 representados no Quadro I pode concluir-se que:

a) Nos distritos de Lisboa, Aveiro e Porto a relação, população servida em energia eléctrica versus população total por distrito, varia entre 90 a 97 %. Em distritos como Beja e Castelo Branco a relação varia entre 60 a 68 %. No distrito de Faro a relação apresenta o seu valor mais baixo de 54 %;

b) A percentagem global de população servida em energia eléctrica em todo o País é um pouco inferior a 90 %;

c) A percentagem de população servida em energia eléctrica é, para lugares com menos de 5 fogos, de somente 26 %;

d) A percentagem de população servida em energia eléctrica, em lugares com menos de 50 habitantes é de 49 %.

Para resolver o problema da electrificação de lugares isolados os métodos convencionais apresentam-se, em alguns casos, sob uma forma pouco económica pela necessidade de estabelecimento de linhas de média tensão muito longas com montagem nesses lugares de postos de transformação de potências mínimas, potências essas que são de longe superiores às pontas anuais máximas verificadas. Assim para um local afastado 3 km da linha de alta tensão, com um número de fogos

que ronde a dezena e com potências instaladas de 1000 W/fogo, e de 15 kVA no posto de transformação, os custos por kVA, instalado são da ordem de 130 000\$00, atendendo a que:

O custo do ramal de Alta Tensão 3 km x 500 000\$/km	1 500 000\$00
O custo do posto de transformação (15kVA) e da rede de baixa tensão	500 000\$00
TOTAL	2 000 000\$00

Apontam-se como outras soluções possíveis, a instalação de microcentrais hidráulicas automatizadas, com os inconvenientes de apresentarem um investimento inicial elevado, e só serem possíveis em locais apropriados, ou a instalação de centrais autónomas accionadas por grupos Diesel de pequena potência, com a vantagem de terem custos iniciais menores que em qualquer outra solução, mas com os inconvenientes de necessitarem de combustível e do consequente transporte para o local, de uma equipa de manutenção e de stock de peças de substituição.

Outra solução a apontar está virada para a utilização das fontes de energia renováveis. São elas a energia eólica e a energia solar.

É para a utilização conjunta destas duas fontes de energia que a seguir se apresenta um estudo.

QUADRO I
Dados estatísticos de Portugal de 1975 e 1976 [2]

Tipo de lugares	N.º lugares	Com energia eléctrica	%	% População
		Sem energia eléctrica		
Com mais de 500 habitantes	2 109	2 027	96	99
		82	4	1
De 200 a 499 habitantes	4 827	4 071	84	86
		756	16	14
De 100 a 199 habitantes	6 443	4 666	72	73
		1 777	28	27
De 50 a 99 habitantes	8 822	5 540	63	64
		3 282	37	36
	16 831	7 763	46	49
		9 068	54	51

Lugares	População residente	População servida c/ electricidade	%
Com menos de 5 fogos	400 635	104 044	26

3. A energia eólica solar-fotovoltaica

A energia eólica apresenta-se como uma manifestação indirecta da energia solar. Cerca de 2 % de energia solar são convertidos em energia eólica. O aproveitamento de energia eólica consiste na captação da energia cinética do ar em movimento e na sua subsequente transformação em energia eléctrica pelos aerogeradores.

A potência eólica que atravessa uma unidade de superfície normal ao fluxo de ar é dada por

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3$$

sendo ρ a densidade do ar e v a velocidade do vento.

Num local ventoso a densidade média da energia eólica é de cerca de 150-500 W/m². A potência disponível cresce rapidamente com a altura ao solo do aerogerador [3], justificando-se quase sempre o uso de uma torre de elevação. Os aerogeradores disponíveis actualmente no mercado apresentam eficiências globais da ordem dos 30 % e o seu custo por kW decresce com a capacidade dos mesmos.

A conversão de energia solar em eléctrica pode ser feita através de painéis de células fotovoltaicas, que apresentam uma eficiência de cerca de 10 %. A potência obtida é proporcional à radiação recebida. Em Portugal, a energia solar média incidente por metro quadrado de superfície horizontal é de cerca de 1750 kWh o que faz com que a potência média fotovoltaica seja somente cerca de 20 % do seu valor máximo, obtido nos períodos de radiação máxima. As flutuações horárias, diárias, sazonais destas formas de energia, as suas baixas densidades e eficiências de conversão implicam o uso de estruturas dispendiosas, de grandes dimensões, bem como a necessidade de armazenagem para fazer face aos períodos de carência dessas fontes de energia.

4. Central mista eólica-fotovoltaica

Uma central mista eólica-fotovoltaica (fig. 1) provida de capacidade de armazenagem e projectada para alimentar cargas com uma potência até alguns quilo-watts, em locais afastados da rede de distribuição de

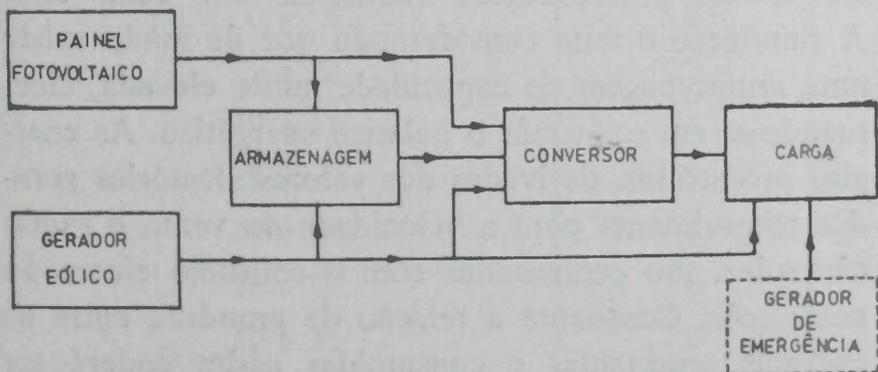


Fig. 1 — Esquema de uma central mista eólica-fotovoltaica

energia eléctrica, constitui uma solução que se torna cada vez mais atraente.

Uma central mista, desde que dimensionada correctamente, apresenta uma elevada fiabilidade, ausência de poluição, manutenção reduzida e total independência no que respeita a combustível.

Apresenta, no entanto, um custo inicial elevado. O Quadro II dá indicação do preço do kW instalado.

QUADRO II
Preço do quilo-watt instalado

Tipo de fonte de energia	Preço típico do kW de pico
Fotovoltaica	750 000\$00
Eólica	200 000\$00

De referir que o preço do kWh armazenado também é elevado, aproximadamente 5000\$00, no caso de baterias de chumbo, que são o tipo de armazenagem mais vulgarmente utilizado.

Faz-se notar que o custo do quilo-watt de pico fotovoltaico deverá reduzir-se substancialmente nos próximos cinco anos, em virtude do desenvolvimento científico e tecnológico que se vai processando no campo das células fotovoltaicas. O custo do kW eólico também baixará logo que a produção dos aerogeradores se passe a fazer em larga escala.

O investimento na parte referente à armazenagem aparece como uma fracção de custo crescente, pois as perspectivas a curto prazo para a obtenção de armazenagem de energia eléctrica a baixo custo são reduzidas. Torna-se conveniente minimizar a armazenagem requerida para fazer face às flutuações diárias e sazonais das energias renováveis.

5. Complementaridade e independência das fontes eólica e solar

A figura 2 mostra a variação da energia eólica e solar na Serra do Pilar.

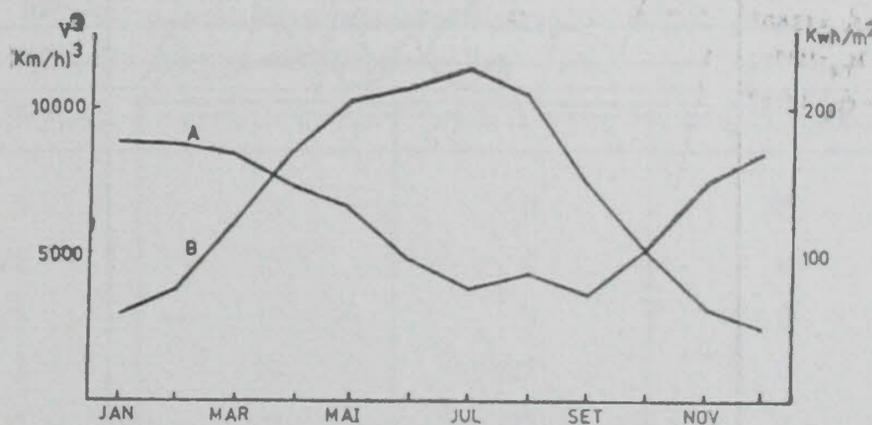


Fig. 2 — Variação anual da energia eólica e solar na Serra do Pilar

A — Energia eólica
B — Energia solar

Existe uma complementaridade pois os máximos de uma distribuição correspondem aos mínimos da outra.

As flutuações sazonais poderão ser fortemente atenuadas pelo uso conjunto das duas formas de energia.

Como é proposta a utilização conjunta das duas formas de energia foi testada a independência de flutuações das distribuições das energias solar e eólica ao longo dos anos.

Consideram-se duas variáveis aleatórias X e Y , correspondendo aos valores de energia solar e eólica para os diversos anos, definidas por um conjunto discreto de n valores X_i e Y_i .

Os valores médios ou a esperança matemática dos valores tomados respectivamente pelas variáveis X , Y e pelo produto XY , são dados por

$$E(X) = \frac{\sum X_i}{n},$$

$$E(Y) = \frac{\sum Y_i}{n},$$

$$E(XY) = \frac{\sum X_i Y_i}{n}.$$

A covariância de X e Y é dada por

$$\text{cov}(X, Y) = E(XY) - E(X) \cdot E(Y).$$

Usando valores de velocidade do vento e da radiação global para a Serra do Pilar (1951-1970), o valor obtido para a covariância é cerca de 0,4 % do valor $E(X) \cdot E(Y)$, concluindo-se a independência da variação das duas distribuições ao longo dos anos.

Na figura 3 estão representadas as flutuações das energias solar e eólica de 1951 a 1970.

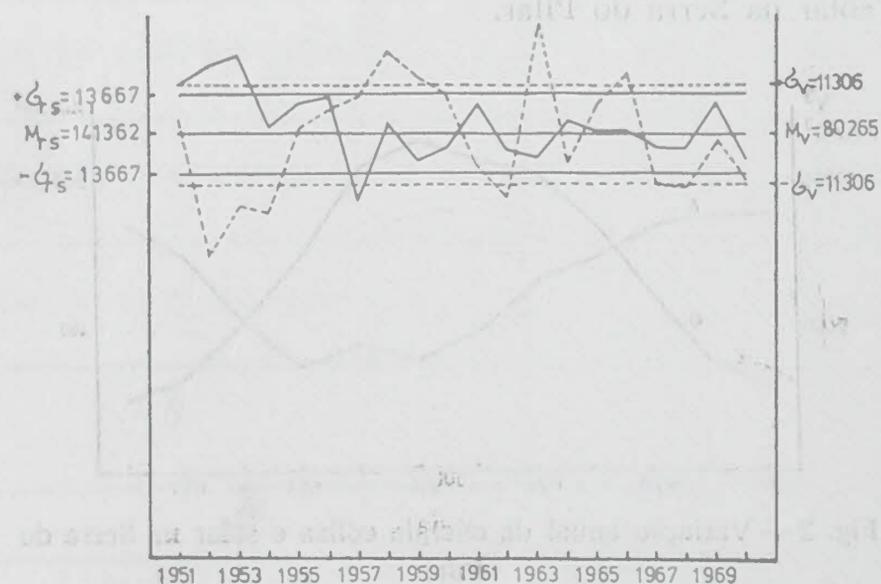


Fig. 3 — Flutuações das energias solar e eólica de 1951-1970 na Serra do Pilar.

De salientar que para a energia solar a flutuação máxima em relação ao valor médio é de cerca de 10 % e para a energia eólica cerca de 14 %.

6. Simulação do funcionamento de centrais mistas eólica-fotovoltaicas

Realizaram-se estudos para verificar qual a capacidade de armazenagem necessária, para diferentes percentagens de mistura da capacidade da fonte eólica e da fonte solar.

Foi considerado o painel fotovoltaico horizontal e com inclinação ajustada mensalmente para maximizar a energia solar recebida. Utilizou-se o Método de Monte Carlo fazendo-se simulações ao longo de 50 anos.

O programa em Fortran compreende os seguintes passos:

a) Leitura de dados relativos ao local da instalação (valores médios da radiação global e velocidade do vento e desvios padrão da radiação global e de velocidade do vento para cada mês; relação para cada mês entre o valor médio de radiação difusa mensal e o valor médio da radiação global mensal). Leitura de dados relativos aos consumos mensais;

b) Cálculo da radiação directa na horizontal no mês I , por dia e por hora;

c) Cálculo da radiação directa normal por hora e por dia médio de cada mês, através da radiação directa na horizontal por dia e por hora [4];

d) Cálculo da radiação global recebida para cada inclinação e para cada mês;

e) Usando os valores médios anuais para as energias solar e eólica são calculadas as capacidades necessárias para que actuando separadamente satisficam o consumo com uma margem de segurança de 20 %. Para um consumo anual de 43 800 kWh encontraram-se os valores de 32,3 kW para a capacidade da fonte solar e 25 kW para a capacidade da fonte eólica;

f) Para cada percentagem (0, 25, 50, 75, 100 %) da mistura das fontes eólica e solar é feita uma simulação ao longo de 50 anos para a obtenção da capacidade de armazenagem requerida em cada ano. A simulação é feita considerando que de início existe uma armazenagem de capacidade muito elevada, efectuando-se em cada mês o balanço energético. As energias produzidas, derivadas dos valores aleatórios gerados mensalmente para a velocidade do vento e radiação solar, são comparadas com o consumo efectuado nesse mês. Consoante a relação de grandeza entre as energias produzidas e consumidas assim poderá ser debitada carga à armazenagem no caso de déficite, ou

poderá ser depositada caso haja produção em excesso e a armazenagem não se encontre cheia. Em cada ano é registada a situação de descarga máxima cujo valor representa a armazenagem requerida para compensar as flutuações na produção de energia nesse ano [5].

7. Análise dos resultados obtidos na simulação

A simulação foi feita para uma pequena povoação que apresenta um diagrama de consumos mensais

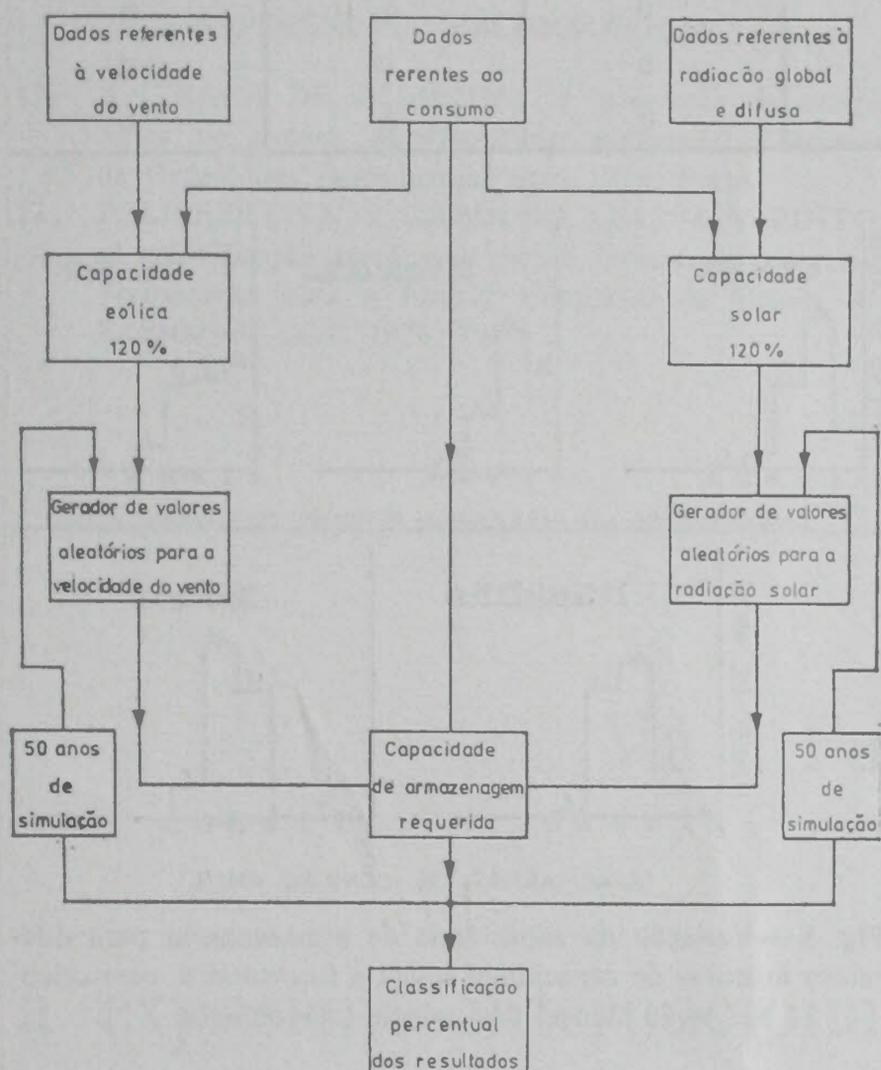


Fig. 4 — Fluxograma simplificado do processo de simulação utilizado

idêntico ao indicado na fig. 5, ao qual corresponde uma potência média de 5 kW e um consumo total anual de 43 800 kWh.

As características climatológicas supuseram-se idênticas às verificadas na estação da Serra do Pilar.

Foram consideradas várias centrais mistas eólica-solares com uma capacidade conjunta tal, que a produção de energia em ano médio excede em 20 % os consumos e em que as percentagens das componentes eólica e solar variam complementarmente entre 0 e 100 %, por escalões de 25 %. As simulações foram efectuadas para períodos de 50 anos tendo sido agrupados os resultados de acordo com a capacidade de armazenagem requerida em cada ano. A classificação dos valores obtidos está feita de modo a indicar o número de anos em 50, em que é necessário uma capacidade de armazenagem menor ou igual a 5 % do consumo anual, uma capacidade maior que 5 % e menor ou igual a 10 %, etc. Os resultados do Quadro III foram obtidos para um painel solar com uma inclinação de zero graus, isto é, na horizontal e com as capacidades eólica de 27,5 kW e solar de 32,3 kW,

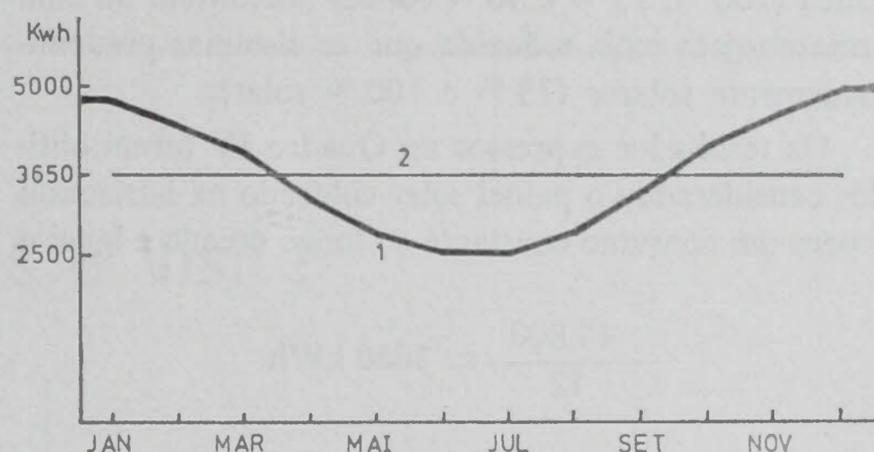


Fig. 5 — Diagrama de consumos mensais de uma pequena povoação

- 1 — Variação anual do consumo de energia eléctrica para uma povoação rural típica.
2 — Valor médio do consumo.

QUADRO III

Resultados de centrais eólica-solares com painel solar horizontal e consumos mensais variáveis

Capacidade de Armaz. em % do consumo anual	Percentagem da mistura das fontes eólica e solar				
	100 % — 0 %	75 % — 25 %	50 % — 50 %	25 % — 75 %	0 % — 100 %
0 a 5	7	9	3	0	0
5 a 10	25	22	15	0	0
10 a 15	14	15	17	3	0
15 a 20	3	3	13	22	0
20 a 25	1	1	2	22	1
25 a 30	0	0	0	3	13
30 a 35	0	0	0	0	15
> 35	0	0	0	0	1

QUADRO IV

Resultados de centrais eólica-solares com painel solar horizontal e consumo constante

Capacidade de Armaz. em % do consumo anual	Percentagem da mistura das fontes eólica e solar				
	100 % — 0 % (Só f. eólica)	75 % — 25 %	50 % — 50 %	25 % — 75 %	0 % — 100 % (Só f. Solar)
0 a 5	1	25	32	1	0
5 a 10	14	22	15	25	0
10 a 15	25	3	3	23	7
15 a 20	8	0	0	1	34
20 a 25	2	0	0	0	9
25 a 30	0	0	0	0	0
30 a 35	0	0	0	0	0
> 35	0	0	0	0	0

que correspondem a um sistema 100 % eólico e 100 % solar, respectivamente.

Verifica-se que devido às variações de consumo estarem em fase com a distribuição de energia eólica ao longo do ano, os sistemas com forte componente eólica (100 %, 75 % e 50 % eólica) necessitam de uma armazenagem mais reduzida que os sistemas predominantemente solares (75 % e 100 % solar).

Os resultados expressos no Quadro IV foram obtidos considerando o painel solar colocado na horizontal e para um consumo constante ao longo do ano e igual a

$$\frac{43\ 800}{12} \approx 3660 \text{ kWh}$$

Devido ao consumo se manter constante ao longo do ano e a energia eólica apresentar anualmente menores flutuações que a energia solar, as misturas a que correspondem menores capacidades de armazenagem são para 75 % e 50 % da fonte eólica.

Considerando, por último, um consumo variável ao longo do ano e um painel solar, virado a sul, com inclinação ajustável mensalmente, a capacidade fotovoltaica necessária para exceder em 20 % o consumo anual é reduzida de 20 % em relação à situação vista anteriormente, do painel solar colocado na horizontal.

Os resultados são expostos sob a forma de histogramas (fig. 5), indicando-se o número de anos em 50 para os quais se verifica uma determinada capacidade de armazenagem.

Pelo facto de se produzir uma melhoria na utilização da energia solar, a energia produzida por efeito fotovoltaico é aumentada, sobretudo nos períodos de maior carência solar (época de Inverno). O melhor resultado é obtido com uma mistura de 50 % de ambas as fontes.

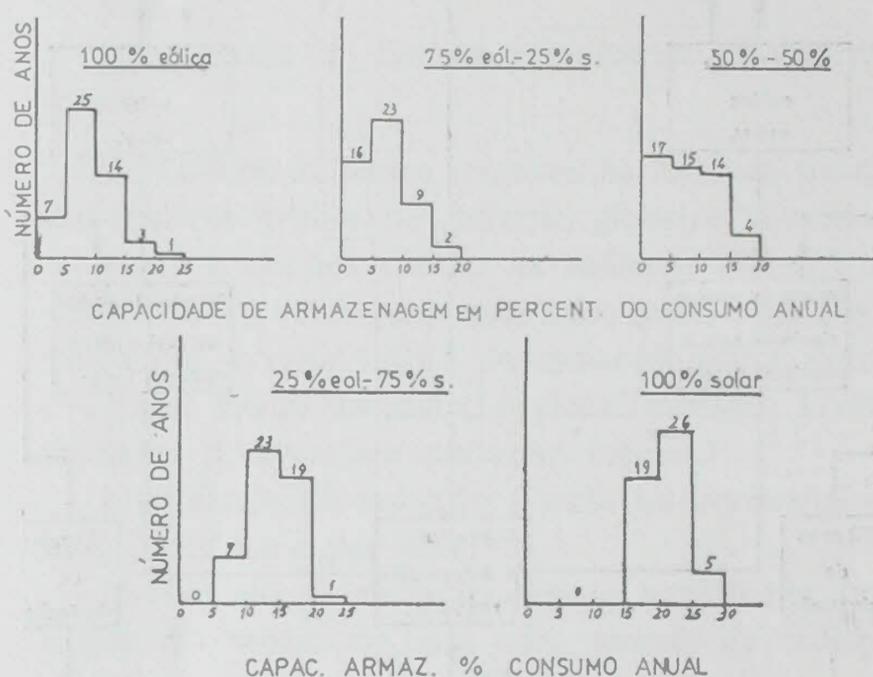


Fig. 5 — Variação da capacidade de armazenagem para diferentes misturas de capacidade eólica e fotovoltaica, com orientação mensal dos painéis fotovoltaicos

8. Conclusão

Considerou-se no presente estudo a utilização das centrais mistas para o fornecimento de energia eléctrica a povoações isoladas.

Foi testada a independência da variação das duas distribuições eólica e solar ao longo dos anos.

Usando o método de simulação de Monte Carlo conclui-se que, com o uso combinado das duas formas de energia, se obtém uma redução significativa da capacidade de armazenagem, facto este que se reveste de grande importância, já que a armazenagem se apresenta, dentro de uma análise económica da instalação de uma central mista, como um factor significativo no custo inicial da instalação, bem como no custo de manutenção [10]. Uma das dificuldades que, no entanto, se poderá encontrar quando do estudo de centrais deste tipo, é a possível ausência de dados referentes a valores de radiação global e da velocidade de vento

nas regiões isoladas de Portugal onde a instalação destas centrais é mais provável.

Poderá ser feito o recurso aos dados de estações meteorológicas com características semelhantes, mas a incerteza introduzida implicará um dimensionamento com um factor de segurança superior.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica o apoio concedido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. TRAÇA DE ALMEIDA: *A integração de energia eólica no sistema electroprodutor português*; Congresso da Ordem dos Engenheiros, Nov. 1978, Porto.
- [2] FELISBERTO N. S. CARDOSO, LUÍS M. V. PINTO: *A electrificação rural e as novas formas de energia — perspectivas para o futuro*; Congresso da Ordem dos Engenheiros, Nov. 1978, Porto.
- [3] A. TRAÇA DE ALMEIDA: *Perspectivas de Utilização da Energia Eólica*; ENDIEL, Janeiro 1979 Lisboa.
- [4] A. TRAÇA DE ALMEIDA, I. CARVALHAL TELES: *Dimensionamento de Centrais Fotovoltaicas para Locais Remotos*; Congresso Luso-Espanhol para o Progresso das Ciências. Dezembro de 1979, Badajoz.
- [5] JOHN W. ANDREWS: *Energy-storage requirements reduced in coupled wind solar generations systems*; Solar Energy, Vol. 18 pp. 73-74, 1976.
- [6] HAHAR E SHAP: *Statistical Models in Engineering*, 1976.
- [7] J. G. Mc GOWAN, W. E. HERONEMUS, G. DAKAZALLY: *Wind and Solar Thermal Combinations for Space Heating*; 10th IEEE Energy Conversion. Conference, 1975.
- [8] J. AUZILLEAU: *Sources d'énergie autonomes pour télécommunications*; L'onde électrique 1979, Vol. 59, n.º 10.
- [9] KUO: *Numerical Methods and Computers*; Addison — Wesley Publish, comp. 1966.
- [10] A. TRAÇA DE ALMEIDA, A. MARTINS, H. JESUS, J. CLÍMACO: *A Combined Wind-Solar-Hydro System for Electric Power Generating*; 4th Int. Symp. on Wind Energy Systems, Stockohlm, Suécia, 21-24 Set. 1982.

Vá a Paris e visite

a exposição internacional do equipamento eléctrico

ELEC 82

de 6 a 11 de Dezembro

no Parque de Exposições Porte de Versailles
