

Projecto, Seminário, Trabalho Final de Curso

Projecto de Sistemas Fotovoltaicos:

Isolado,
Regime Produtor/Consumidor,
Ligado à Rede.

Relatório de Estágio

Curso: Engenharia Electrotécnica e de Computadores (Ramo de Energia)

Aluno: Luís Miguel Quintas (000503091)

Orientador FEUP: Prof. Cláudio Monteiro

Orientador sentec: Eng. Hélder Fonseca

85

Projecto, Seminário, Trabalho Final de Curso

Projecto de Sistemas Fotovoltaicos:

Isolado,
Regime Produtor/Consumidor,
Ligado à Rede.

Relatório de Estágio

Curso: Engenharia Electrotécnica e de Computadores (Ramo de Energia)

Aluno: Luís Miguel Quintas (000503091)

Orientador FEUP: Prof. Cláudio Monteiro

Orientador sentec: Eng. Hélder Fonseca

85

6213(0473) / LCCC Pack 1000P

Facu

Nº 105173

CHU
24 02 10

Sumário:

Este trabalho contempla uma breve apresentação da sentec – engenharia, Lda., diferenciando as áreas de negócio mais significativas e projectos em curso.

Irá ser descrito todo um conjunto de conceitos fundamentais e os quais são o cerne do programa de projectos fotovoltaicos, o FVSOL@R.

O FVSOL@R não é mais do que uma simples aplicação, que permite não só estimar os custos inerentes à construção de uma instalação fotovoltaica mas também realizar um estudo de produção e rentabilidade do projecto.

A vantagem deste programa é a capacidade de poder estar sempre actualizado, uma vez que existem sempre novos produtos a surgirem no mercado.

Será apresentada uma fracção dos trabalhos realizados durante a minha passagem na sentec – engenharia, Lda.

Infelizmente devido ao preço desta tecnologia ser elevado não se chegou a implementar nenhuma instalação, como inicialmente estava previsto.

Agradecimentos:

Ao Eng. Hélder Fonseca, Engenheiro Sócio – Gerente da sentec – engenharia, Lda., pela disponibilidade e empenho revelados durante o estágio, assim como toda a documentação e logística disponibilizada para a realização deste trabalho.

Agradeço ainda a todos os funcionários da sentec – engenharia, Lda., por me proporcionarem uma experiência integrante na empresa com um ambiente envolvente e inteira disponibilidade.

Ao Professor Cláudio Monteiro, cuja dedicação e apoio foram imprescindíveis à realização deste trabalho.

Índice:

Sumário:.....	1
Agradecimentos:.....	2
Índice:.....	3
1 Introdução.....	5
2 Caracterização da sentec – engenharia, Lda.....	6
2.1 Apresentação.....	6
2.2 Objectivo.....	6
2.3 Áreas de Negócio.....	6
2.4 Experiência/Suporte.....	8
2.5 Últimas obras efectuadas.....	9
2.6 Formação.....	14
2.7 Parceria.....	14
3 A radiação solar e a temperatura.....	16
3.1 Algumas definições e unidades.....	16
3.2 As variações da radiação solar.....	17
4 Movimentos angulares do Sol ao longo das estações do ano.....	18
4.1 Declinação Solar.....	18
4.2 Equação do tempo.....	19
4.3 Hora legal e hora solar.....	19
4.4 Ângulo horário.....	20
4.5 Ângulos que definem a geometria solar.....	20
5 Estimar radiação global, directa e difusa num plano horizontal.....	23
6 Estimar radiação global, directa, difusa e reflectida num plano inclinado.....	25
6.1 Radiação Directa.....	25
6.2 Radiação Difusa.....	25
6.3 Radiação Reflectida.....	25
7 Caracterização dos elementos geradores:.....	27
7.1 Efeito da temperatura:.....	30
7.2 Potência efectiva produzida por um painel.....	31
8 Apresentação do FVSOL@R.....	32

8.1	Características essenciais:.....	32
8.2	Página inicial: Definições do tipo de sistema e localização:	33
8.3	Tipo de sistema: Isolado	38
8.3.1	Definição dos consumos	38
8.3.2	Definição dos painéis solares.....	39
8.3.3	Definição do inversor	42
8.3.4	Definição do regulador de carga	44
8.3.5	Definição das baterias.....	45
8.3.6	Dimensionamento e estudo económico do sistema isolado	46
8.4	Tipo de sistema: Ligado à rede.....	56
8.4.1	Definição dos painéis solares.....	56
8.4.2	Definição do inversor	56
8.4.3	Dimensionamento e estudo económico do sistema ligado à rede.....	56
8.5	Tipo de sistema: Produtor/Consumidor.....	61
8.5.1	Dimensionamento e estudo económico do sistema produtor/consumidor	61
9	Comparação de informação gerada:	64
10	Trabalho realizado ao longo do estágio na sentec – engenharia, Lda.....	69
10.1	Instalação fotovoltaica para uma vivenda.....	69
10.2	Instalação fotovoltaica em regime produtor/consumidor na cobertura de uma estação de serviços.....	70
10.3	Instalações fotovoltaicas em torres de telecomunicações.....	73
10.5	Outros orçamentos provisionais:.....	74
	Conclusões:	76
	Bibliografia	77

1 Introdução

O combustível dos sistemas fotovoltaicos é a radiação solar e as suas características são as bases para o dimensionamento de um sistema e influenciam desde a quantidade de módulos à fiabilidade do sistema. Desde os tempos antigos que a compreensão da radiação solar tem feito parte da Física, mas só recentemente se atendeu à sua natureza estatística. Modelos computacionais hoje em dia trabalham sobre algoritmos de modo a criar um modelo previsionial da energia solar. Devido à aleatoriedade da meteorologia e da energia solar que alcança a face terrestre, estes sistemas nem sempre criam valores consistentes com a realidade.

Neste trabalho, não vamos criar um modelo previsionial, mas uma aplicação que com base nos históricos da radiação global irá dimensionar sistemas fotovoltaicos. Com os incentivos governamentais e com a preocupação ambiental que toca a todos os habitantes do globo terrestre, é imperativo que haja uma redução drástica no valor das emissões de dióxido de carbono.

Prevê-se num curto espaço de tempo a abertura de um mercado paralelo ao da energia. Trata-se de um mercado de cotas de emissões de poluentes. Indústrias que não podem abdicar de combustíveis fósseis quando solicitadas a pagar coimas, poderão adquirir créditos extras a produtores de energia solar.

Antes de um investidor decidir avançar para a construção de uma central fotovoltaica, quer ter garantias que a rentabilização ocorrerá o mais breve possível, pelo que os estudos económicos a realizar deverão passar por uma previsão coerente e próxima da realidade. Neste caso, as bases irão assentar sobre valores históricos de radiação.

Numa empresa como a sentec - engenharia, Lda. a chegada de pedidos de orçamento é elevada. Muitas pessoas já estão minimamente cientes que se trata de uma tecnologia cara, outros são meramente curiosos. Para dar resposta a estes pedidos, foi necessário a criação de uma ferramenta que ao mesmo tempo quantificasse equipamentos e fornecesse informação da energia produzida para apresentar aos clientes. Com base nestes requisitos, nasceu o FVSOL@R.

2 Caracterização da sentec – engenharia, Lda.

2.1 Apresentação.

A sentec – engenharia, Lda., criada em 2003, tem como missão o fornecimento global de soluções integradas nas áreas das energias convencionais, renováveis, e telecomunicações.

No negócio das energias renováveis e telecomunicações, áreas com grande potencial de desenvolvimento, quer no mercado nacional, quer nos mercados internacionais, a empresa concentrou o seu *core business* nas seguintes unidades de negócio:

- Telecomunicações Móveis e Fixas;
- Soluções Integradas de Telecomunicações;
- Soluções Integradas de Controlo e Monitorização (Estações de Meteorologia);
- Electricidade – Baixa e Média Tensão;
- Postos de Transformação, Redes de Terra e Protecção Catódica;
- Energias Renováveis;
- Manutenção;
- Internacionalização.

2.2 Objectivo

Sendo os investimentos nas energias renováveis cada vez mais uma preocupação a nível mundial, a sentec considera esta área de trabalho como um negócio fundamental, no qual existem diversos projectos a decorrer com algumas organizações nacionais e internacionais.

Assim sendo, apresentam-se de seguida os serviços mais relevantes efectuados nos últimos tempos, para os clientes em Portugal.

2.3 Áreas de Negócio

Energias



Energias Convencionais:

Nesta área de negócio está englobado o fornecimento global de soluções integradas *turn key* onde se incluem as seguintes actividades:

- >> Instalações eléctricas específicas para telecomunicações;
- >> Redes aéreas e subterrâneas de baixa e média tensão;
- >> Construção e manutenção de postos de transformação;
- >> Medição de resistividade do solo e resistência ohmica de terra;
- >> Melhoramento do valor ohmico de terras de protecção e serviço;

- >> Instalação de sistemas de protecção catódica;
- >> Instalação de sistemas de protecção contra sobretensões;
- >> Instalação de sistemas de correcção do factor de potência;
- >> Instalações eléctricas especiais;
- >> Automação e controlo industrial;
- >> Domótica;
- >> Manutenção de instalações eléctricas.

Energias Renováveis:

Solar Fotovoltaica e Eólica:

Nesta área de negócio está englobado o fornecimento global de soluções integradas *turn key* de alimentação de energia para as seguintes instalações:

- >> Antenas de radiocomunicação
- >> Sistemas de monitorização;
- >> Sistemas de sinalização terrestre e marítima;
- >> Sistemas de semaforização;
- >> Parómetros;
- >> Telefones SOS;
- >> Centrais Solares ligadas à rede;
- >> Mini-Hídricas;
- >> Parques Eólicos;
- >> Alimentação de instalações isoladas;
- >> Aerobombas para abastecimento de água.



Serviços

- >> Licenciamentos camarários e industriais;
- >> Processos energia (EDP, Certiel, DGE);
- >> Projectos de licenciamento e execução (todas as especialidades de construção civil, electricidade e telecomunicações);
- >> *Survey's* e negociação de espaços para instalação de estações base de radiocomunicação;
- >> Consultoria nas áreas das energias e telecomunicações;
- >> Fiscalização e direcção de obra;
- >> Estudos de gestão de energia e eficiência energética.

Telecomunicações



Nesta área de negócio está englobado o fornecimento global de soluções integradas *turn key* onde se incluem as seguintes actividades:

- >> Construção de estações base de radiocomunicação;
- >> Contentores de telecomunicações;
- >> Assemblagem de contentores e salas técnicas para estações de radiocomunicação;
- >> Montagem de equipamento de telecomunicações (BTS's, NODE B, cablagem, antenas, repetidores, *minilink's*);
- >> Projecto e Execução de coberturas *indoor*;
- >> Manutenção de infra-estruturas de telecomunicações;
- >> Execução de redes de distribuição subterrânea e aérea para a rede fixa;
- >> Medição de campos electromagnéticos nas estações de radiocomunicação e respectiva sinalização;
- >> Instalação e manutenção de sistemas de AVAC em contentores de telecomunicações.

2.4 Experiência/Suporte

A sentec conta já com uma larga experiência no domínio da Instalação/Manutenção, concentrada no pessoal técnico dos quadros da empresa, que nos últimos anos já executou este tipo de serviços para vários operadores de telecomunicações, assim como para outros clientes. Nos últimos dois anos e primeiros de existência da sentec podemos ver mais à frente algumas das obras por nós executadas.

A sentec conta com o apoio da CAPA, empresa do grupo, para o fornecimento exclusivo de contentores de telecomunicações, sendo os mesmos assemblados na sentec.

Nas energias renováveis a sentec está a desenvolver negócios na área da energia solar contando com uma representação em Portugal da "KYOCERA", na energia eólica representamos aerogeradores de pequeno porte para instalações isoladas e estamos a desenvolver parcerias com fornecedores de aerogeradores de grande porte para construção de parques eólicos, passando assim a sentec a fornecer uma solução integrada nesta área.

A sentec representa as estações meteorológicas da "GEONICA", utilizadas nos estudos de viabilidade de Parques Eólicos.

Sendo a sentec - engenharia, Lda. participada com a CAPA, SA., empresa com elevados padrões de exigência, aplicados em todas as circunstâncias e de acordo com os interesses dos nossos clientes, foi reconhecida em Janeiro de 2004 e distinguida pela TUV, com a Certificação do Sistema de Garantia da Qualidade

como “Empresa Certificada”, segundo a norma NP EN ISO 9001. A sentec – engenharia, Lda. não sendo uma empresa certificada trabalha sob os mesmos padrões, de forma, a num futuro próximo a certificação ser um acto consumado. Esta ligação estratégica torna a sentec – engenharia, Lda. uma empresa com competências e capacidade de resposta em áreas onde existiam maiores necessidades. Com pessoal qualificado nas áreas de especialização em questão, garantimos em todo momento a qualidade das tarefas e o cumprimento dos prazos estabelecidos.

A sentec dispõe então da seguinte estrutura operacional:

Engenheiros Electrotécnicos;
Engenheiro Mecânico;
Engenheiro Civil;
Arquitectos;
Engenheira Instrumentação e Qualidade Industrial, Pós Graduada em Higiene, Saúde e Segurança no Trabalho;
Técnicos de Telecomunicações;
Técnicos de Electricidade;
Técnicos de AVAC;
Técnicos de Construção Civil;
Desenhadores de Construção Civil e Infra-Estruturas Metálicas;
Licenciado em Direito;
Licenciado em Economia;
Contabilista;
Licenciada em Gestão.

2.5 Últimas obras efectuadas

A sentec – engenharia, Lda., tem como *know how* adquirido nos últimos anos trabalhos nas áreas anteriormente descritas para os diversos clientes nacionais e internacionais, nomeadamente:

Nordex – Fornecimento e montagem de torres metálicas para medição e análise de ventos em Parques Eólicos;

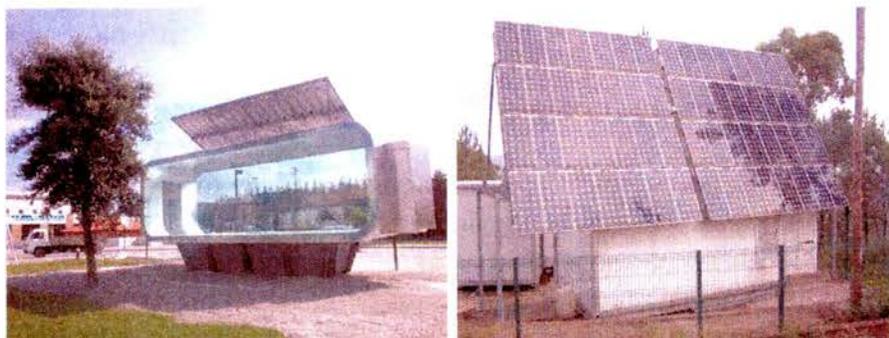


Infusion – Fornecimento e montagem de torres metálicas para medição e análise de ventos em Parques Eólicos;



Em instalações isoladas da rede nomeadamente com os seguintes clientes:

CAPA – Instalação de sistemas solares fotovoltaicos para alimentação de módulos auto-suficientes;



CAPA – Instalação de sistemas solares fotovoltaicos e térmicos em casas pré-fabricadas;



Eyssa-Tesis – Fornecimento de sistemas solares fotovoltaicos para alimentação de sistemas de controlo e monitorização;



Em centrais eléctricas ligadas à rede tem diversos projectos em curso nomeadamente com os seguintes clientes:

ADERE – aproveitamento de regadios para instalação de micro aproveitamentos hídricos ligados à rede pública dentro da área de Parque Nacional Peneda Gerês;

ADERE – projecto em curso para diversas centrais fotovoltaicas ligadas à rede dentro da área do Parque Nacional Peneda Gerês;

ADERE – produção de hidrogénio;

Sociedade Portuguesa de Vida Selvagem – projecto em curso para três centrais fotovoltaicas de 100kW;

PROGELCONE – projecto em curso para uma central fotovoltaica de 300kW;

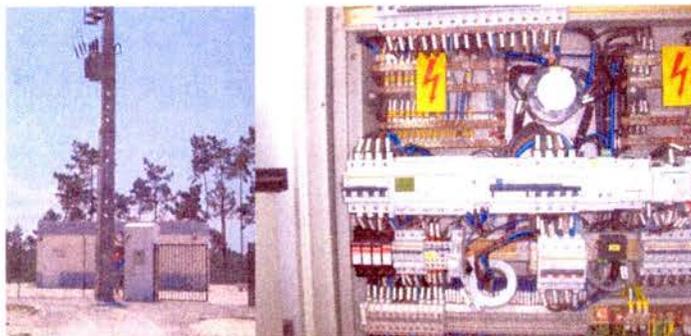
AMAVE (Associação de Municípios do Vale do Ave) – Vários projectos em curso para instalação de centrais fotovoltaicas nas instalações da AMAVE;

ASASTAP – projecto em curso para uma central fotovoltaica de 100kW;

Clientes Particulares – centrais fotovoltaicas e eólicas ligadas à rede;

Na área das infra-estruturas eléctricas, tem trabalhado nomeadamente com os seguintes clientes:

Transgás – Manutenção Preventiva e Correctiva de Postos de Transformação;





Transgás – Infra-estruturas Eléctricas;

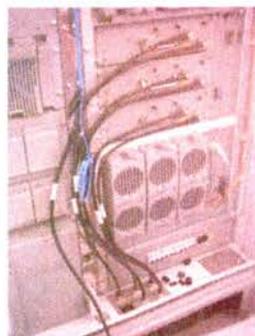


Vodafone – Serviços de engenharia e instalações eléctricas;



Na área das telecomunicações, tem trabalhado nomeadamente com os seguintes clientes

Ericsson/TMN – Substituição de equipamento de transmissão rádio;



Ericsson/Vodafone - Fornecimento e assemblagem de contentores de telecomunicações;



Painhas/TMN - Reengenharias GSM / UMTS;



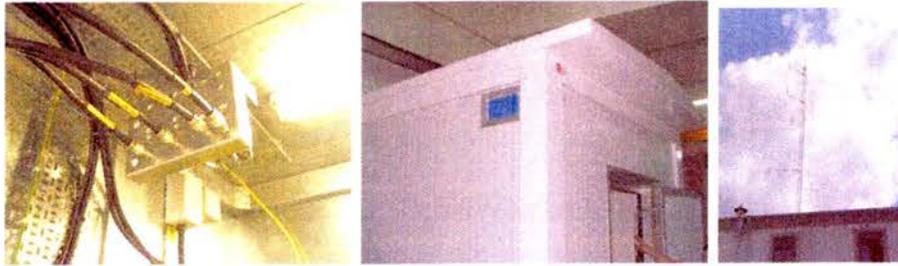
Viatel / TMN - Reengenharias GSM / UMTS;



Viatel / Optimus - Manutenção preventiva e correctiva de estações base;



Viatel / Motorola / SIRESP – Construção de estações base de radiocomunicação;



Noxitel / Motorola / SIRESP – Construção de estações base de radiocomunicação;



2.6 Formação

A sentec – engenharia, Lda., tem apostado desde a sua existência na formação contínua de todos os seus colaboradores, tendo feito formações com as seguintes entidades:

IIR – Curso de Formação sobre Manutenção de Parques Eólicos.

Jorge Lozano – Técnicas de Trabalhos em Altura;

Huawei/Radiomóvel – Curso Prático de Instalação de BTS *Outdoor*;

Ericsson – Cursos de Formação “GSM RBS 2206/2106 *Installation*” e “WCDMA RBS 3000 *Installation*”;

Andrew – Curso de Formação de Instalação e Conectorização de Cabo Coaxial;

Daikin – Curso de Formação de SPLIT e Multi Split Inverter;

Hiross – Curso de Formação em Unidades de Telecomunicações Lebert-Hiross
Hiwall PO, programação e procura de avarias em controlador;

2.7 Parceria

Para a construção de Parques Eólicos “Chave na mão” a sentec subscreveu uma parceria estratégica com as seguintes empresas:

- Projecto global, Infra-estruturas Eléctricas e Ligação à Rede: sentec – engenharia, Lda.

- Construção Civil: Jaime Ribeiro & Filhos, S.A.



- Montagem torres e aerogeradores: GlobalWindtech, Lda.

globalwindtech.pt

3 A radiação solar e a temperatura.

O clima e a radiação solar têm um papel fundamental no dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. Estes dois factores conseguem influenciar nos dois lados do sistema, ou seja, no lado da geração e no lado dos consumos. Quando se inicia uma caracterização de um recurso solar é necessário possuir à partida dois tipos de informação: dados de radiação solar e temperatura no local.

A temperatura influencia o rendimento das células solares. Igualmente no lado das cargas, hoje em dia controlamos a temperatura em nossas casas e no trabalho com a ajuda do ar condicionado, o que significa uma grande variação na carga do sistema.

A relação entre a energia gerada pelos recursos renováveis e a carga, principalmente num sistema isolado requer um pré estudo de um período mais desfavorável, geralmente o Inverno, pois a radiação solar que chega à superfície terrestre é menor, como iremos ver mais à frente.

3.1 Algumas definições e unidades

A radiação solar que alcança uma superfície terrestre horizontal é designada como radiação global. A quantidade de radiação solar que chega a uma superfície horizontal por unidade de tempo é designada com irradiância (G) e a unidade é Watt por metro quadrado [W/m^2].

A integração mais comum da irradiância é em períodos de hora (Gh [$Wh/m^2/h$]), de dia (Gd [$Wh/m^2/d$]) e de mês (Gm [$Wh/m^2/m$]) e é designada como radiação.

A média diária mensal da radiação vai ser escrita neste documento como Gdm .

A radiação global divide-se em duas componentes, radiação directa e difusa. O método para indicação das diferentes integrações é igual ao método da radiação global, alterando apenas a letra de designação. Para a radiação directa temos a letra "B" do inglês "Beam", ficando então Bh , Bd , Bm e Bdm e para a radiação difusa temos a letra "D", ficando a simbologia Dh , Dd , Dm e Ddm . Mais uma vez se reforça a ideia de que quando queremos referir irradiância global G , irradiância directa B e irradiância difusa D , não colocamos quaisquer índices.

A maneira como a informação é disponibilizada, às vezes pode diferir, podemos ter a informação da radiação sob a forma de índice de claridade. O índice de claridade, designado como K_T é determinado como sendo a relação entre a radiação global e a radiação extraterrestre G_0 , sempre considerando uma superfície horizontal.

$$Eq. (1) \quad K_T = \frac{G}{G_0}$$

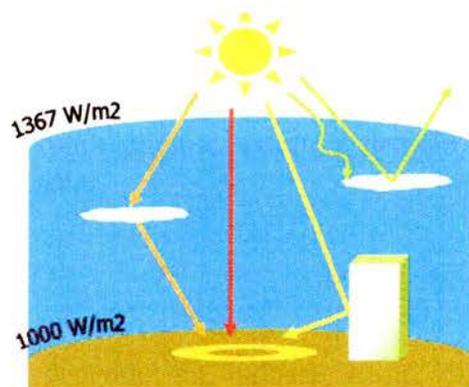


Fig. (1) – Radiação Global, directa, difusa e reflectida.

A constante solar I_0 é a irradiância extraterrestre à distância média da Terra ao Sol. O valor em conformidade que se usa para a radiação extraterrestre I_0 é de 1367 W/m^2 .

Mais adiante irá ser feita referência ao movimento não circular da trajectória da Terra assim como os seus parâmetros para completar a caracterização do recurso solar disponível.

3.2 As variações da radiação solar

O problema em análise coloca-se quando necessitamos de dimensionar um sistema que irá fornecer energia a uma carga constante a partir de um recurso renovável como o Sol. Embora a energia que chega à superfície extraterrestre seja constante, os raios solares têm que percorrer uma certa distância até atingirem o solo. As condições climáticas são as responsáveis por estas variações repentinas e complicadas de serem estimadas. As nuvens são a causa principal pela instabilidade deste recurso. As influências e alterações podem ocorrer em espaços de dias, horas, minutos e até mesmo segundos. Estas variações podem perfeitamente alterar valores de incidência de radiação directa no solo de 600 Wh/m^2 para uns 10 Wh/m^2 ou menos no espaço de segundos e em minutos passar novamente para os 600 Wh/m^2 . Devido à dificuldade em fazer previsões, não irá ser desenvolvida esta componente, porém, existe informação de valores médios para diversos locais nacionais e estrangeiros, os quais vão ser utilizados neste projecto.

4 Movimentos angulares do Sol ao longo das estações do ano

O cálculo da geometria solar é na maior parte das vezes necessário. Este conhecimento é essencial para complementar a decisão sobre a inclinação e a orientação a dar ao painel solar.

4.1 Declinação Solar

O caminho diário solar depende da latitude e do dia do ano. A principal característica geométrica de estimação da posição solar é a declinação solar. A declinação solar é o ângulo entre o eixo de rotação terrestre e a normal ao plano de translação da Terra.

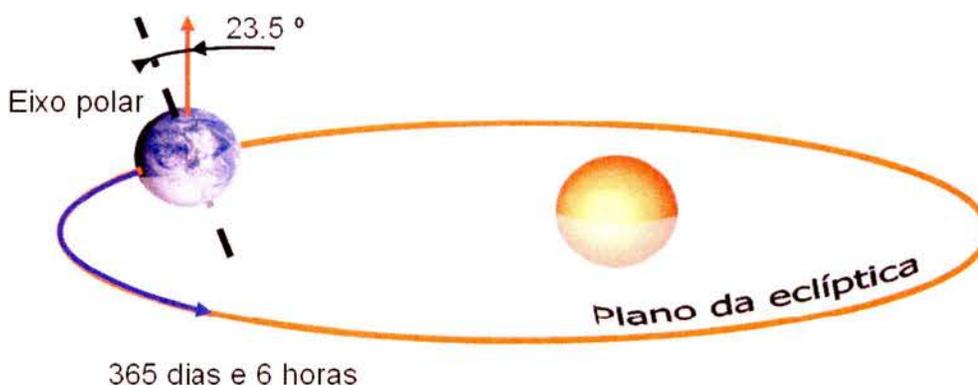


Fig. (2) - Representação da órbita terrestre e definição de declinação.

A declinação solar está continuamente a variar. Ao longo de um dia a declinação varia no máximo $0,5^\circ$. Em termos de aproximação podemos considerar a variação ao longo do dia como nula. Ao longo do ano esta variação não é desprezável. Quando a declinação se anula dá-se o nome de equinócio (dias e noites iguais) e ocorre duas vezes por ano. Quando se anula no hemisfério norte designa-se como equinócio de Primavera e ocorre nos dias 20/21 de Março e anula-se novamente nos dias 22/23 de Setembro, designando-se como equinócio de Outono.

Outro fenómeno que acontece e que em tempos antigos era associado a rituais é o solstício. Do mesmo modo, este fenómeno ocorre em duas alturas distintas do ano. No dia 21/22 de Junho em que a declinação tem o valor de $23,45^\circ$ e designa-se como sendo o solstício de Verão. É caracterizado pelo Sol se encontrar sobre o Trópico de Câncer e de ser o dia maior do ano. No dia 21/22 de Dezembro ocorre o solstício de Inverno, corresponde à noite mais longa do ano e o Sol nasce exactamente a Sudeste e põem-se Sudoeste.

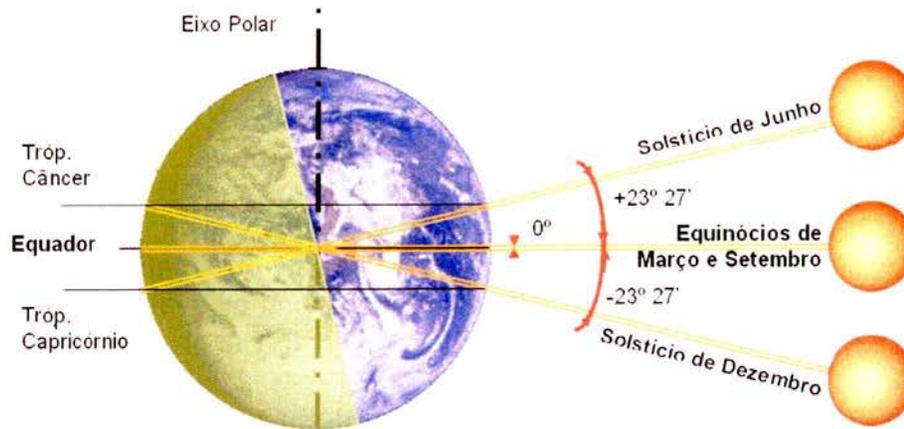


Fig. (3) - Representação dos Equinócios e Solstícios.

A equação trigonométrica para determinar a declinação Solar é a seguinte:

$$Eq. (2) \quad \delta = 57,2958.(0,006918 - 0,399912.\cos(A) + 0,070257.\sin(A) - 0,006758.\cos(2.A) + 0,000907.\sin(2.A) - 0,002697.\cos(3.A) + 0,00148.\sin(3.A)) [^\circ]$$

Onde A é definido como sendo o ângulo diário e varia com a ordem do dia do ano d_n , como descreve a seguinte equação:

$$Eq. (3) \quad A = \frac{2\pi.(d_n - 1)}{365} [rad]$$

4.2 Equação do tempo

A diferença entre a duração do dia segundo a hora legal (24 horas) e a verdadeira duração do dia que varia durante todo o ano, é expressa pela equação do tempo. A fórmula matemática que nos permite chegar à diferença é a seguinte:

$$Eq. (4) \quad ET = 3,819.(-0,000075 + 0,001868.\cos(A) - 0,032077.\sin(A) - 0,014615.\cos(2.A) - 0,04089.\sin(2.A)) [horas]$$

4.3 Hora legal e hora solar

Existem dois tipos de hora, a hora legal que varia de local para local ao longo do globo e a hora solar. A hora solar é determinada a partir da posição do Sol. O meio-dia solar em qualquer sítio é quando o Sol se encontra na sua elevação máxima e acontece exactamente sobre o meridiano Norte-Sul.

Devido à não coincidência da hora legal com a hora solar, todos os cálculos realizados se irão basear na verdadeira hora solar.

Para determinarmos a verdadeira hora solar utiliza-se a seguinte equação:

$$\text{Eq. (5)} \quad H_{sol} = HOF + ET - AH + \frac{(LON - LH)}{15} [\text{horas}]$$

Onde H_{sol} [horas] é a verdadeira hora solar, HOF [horas] é a hora oficial do local, ET [horas] é a equação do tempo, AH é o avanço horário (em Portugal $AH=0$ para o horário de Inverno e no horário de Verão $AH=1$), LON [°] é a longitude do local e LH [°] é a longitude do meridiano do fuso horário da hora local.

Nota: Note-se que foi considerado que todos os ângulos para Este foram considerados positivos e Oeste negativos. Isto é fundamental para o estudo dos sistemas para cada local.

4.4 Ângulo horário

A Terra demora 24 horas a efectuar uma rotação completa sobre o seu eixo (360°), para este tipo de aplicações é de todo conveniente utilizarmos uma unidade angular em vez de uma unidade horária. Define-se então como ângulo horário w , a distância em graus efectuada pela Terra na sua rotação. Com uma simples operação de divisão (360°/24h) chegamos à conclusão que a Terra por cada hora tem uma rotação de 15°. Definindo que ao meio-dia $w=0$, de manhã w é negativo e positivo de tarde, é possível determinar w para qualquer hora com a seguinte equação:

$$\text{Eq. (6)} \quad w = (H_{sol} - 12) \cdot 15 \text{ [°]}$$

4.5 Ângulos que definem a geometria solar

Os ângulos que definem a posição angular do Sol em relação a qualquer ponto na superfície terrestre são dois:

– Elevação solar (γ_s): é o ângulo formado pela linha que une o centro da Terra ao Sol e o plano horizontal.

$$\text{Eq. (7)} \quad \gamma_s = \arcsin(\sin \delta \cdot \sin \phi + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \omega) [\text{°}]; \text{ sendo } \phi \text{ a latitude do local.}$$

– Azimute solar (α_s): é o ângulo no plano horizontal formado pela projecção do Sol e a linha Norte - Sul. Está definido como positivo no quadrante Sul - Oeste e negativo no quadrante Sul - Oeste.

$$\text{Eq. (8)} \quad \alpha_s = \arccos\left(\frac{\sin \gamma_s \cdot \sin \phi - \sin \delta}{\cos \gamma_s \cdot \cos \phi}\right) [\text{°}]$$

Note-se que para w negativo, o azimute solar é igualmente negativo.

- Distância de Zenit: é o ângulo complementar da elevação solar, formado pelo vector Sol - Terra e a vertical do local.

$$\text{Eq. (9)} \quad \theta_{zs} = 90 - \gamma_s [^\circ]$$

Geometricamente definem-se mais dois ângulos:

- O ângulo de incidência num plano com uma inclinação β e com um azimute α . Este é medido entre a normal ao plano onde incidem os raios solares e a linha que une o painel e o centro do Sol. Este ângulo vai ser usado para estimar qual a percentagem de radiação directa que atinge a superfície. A figura seguinte ilustra como o ângulo de incidência afecta a quantidade de radiação que chega ao painel.



Fig. (4) - Influência do ângulo de incidência.

$$\begin{aligned} \text{Eq. (10)} \quad \theta_s = & \arccos(\sin \delta \cdot \sin \phi \cdot \cos \beta - \sin \delta \cdot \cos \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha + \\ & + \cos \delta \cdot \cos \phi \cdot \cos \beta \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \phi \cdot \sin \beta \cdot \cos \alpha \cdot \cos \omega + \\ & + \cos \delta \cdot \sin \alpha \cdot \sin \omega \cdot \sin \beta) [^\circ] \end{aligned}$$

- Ângulo de saída do Sol (ω_s): este ângulo é obtido pela Eq. (8), sabendo que nesse momento a elevação do Sol é nula.

$$\text{Eq. (11)} \quad \omega_s = -\arccos(-\text{tg} \delta \cdot \text{tg} \phi) [^\circ]$$

É possível determinarmos a hora de amanhecer e a hora de anoitecer com as seguintes equações:

$$\text{Eq. (12)} \quad Ham = 12 + \frac{\omega_s}{15} [\text{horas}]$$

$$\text{Eq. (13)} \quad Han = 12 - \frac{\omega_s}{15} [\text{horas}]$$

A duração do dia será então a conjugação das equações 12 e 13.

$$\text{Eq. (14)} \quad So = Ham - Han = -\frac{2 \cdot \omega_s}{15} [\text{horas}]$$

Devido à disposição do painel ser arbitrário no que se refere à inclinação e ao azimute, temos que contabilizar apenas as horas de exposição ao Sol, para isso definimos o ângulo de exposição solar como:

$$\text{Eq. (15)} \quad \omega_{ss} = \max(\omega_s, -\arccos(-\text{tg} \delta \cdot \text{tg}(\phi - \beta))) [^\circ]$$

Na seguinte figura estão representados os ângulos atrás retratados.

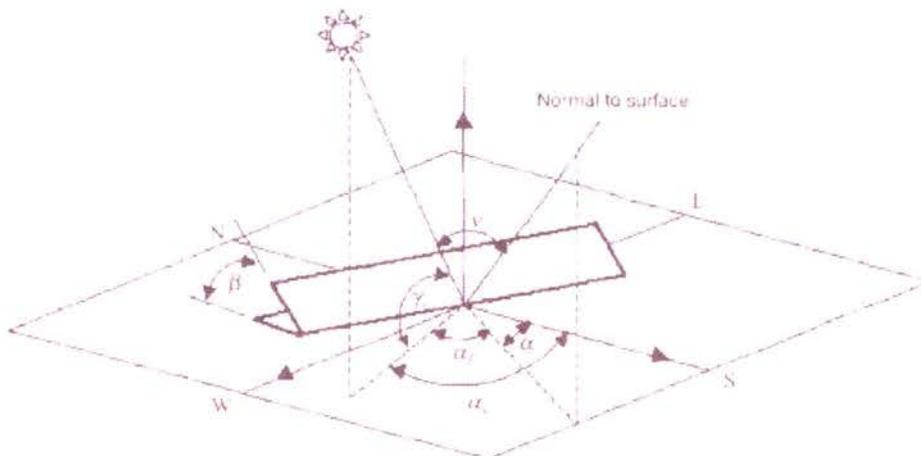


Fig. (5) – Representação da geometria solar.

5 Estimar radiação global, directa e difusa num plano horizontal.

Como vimos atrás, no ponto 3.1, a irradiância que incide a superfície extraterrestre à distância média é de 1367 W/m^2 . Relembrando que a trajectória de translação da Terra é uma elipse, é necessário proceder a uma correcção da radiação que atinge a Terra para os diferentes dias do ano. Esta variável é denominada como factor de excentricidade e tem a seguinte equação:

$$\text{Eq. (16)} \quad \varepsilon = 1.00011 + 0.034221 \cdot \cos(A) \cdot \cos(A) + 0.00128 \cdot \sin(A) + 0.000719 \cdot \cos(2 \cdot A) + 0.000077 \cdot \sin(2 \cdot A) [s/un]$$

Para calcularmos a radiação solar à entrada da atmosfera, utilizamos a seguinte equação:

$$\text{Eq. (17)} \quad B_{0d}(0) = \frac{24}{\pi} \cdot Cs \cdot \varepsilon \cdot (\cos \delta \cdot \cos \phi) \cdot (\omega s \cdot \cos \omega s - \sin \omega s) [Wh/m^2]$$

Após o cálculo da radiação extraterrestre diária, fazemos a média mensal diária da seguinte forma:

$$\text{Eq. (18)} \quad B_{0dm}(0) = \frac{\sum B_{0d}(0)}{n} [Wh/m^2]; \text{ onde } n \text{ é o número de dias no mês.}$$

Como existem dados (radiação global no solo) medidos por estações metrológicas, podemos utilizar a equação de *Page* para determinarmos o índice de fracção difusa K_D e o índice de claridade K_T .

$$\text{Eq. (19)} \quad K_T = \frac{G_{dm}(0)}{B_{odm}(0)} [s/un]$$

$$\text{Eq. (20)} \quad K_D = 1 - 1.13 \cdot K_T [s/un]$$

Para determinarmos a radiação directa e difusa a partir dos índices K_T e K_D , basta apenas relacionar com a radiação global:

$$\text{Eq. (21)} \quad D_{dm}(0) = K_D \cdot G_{odm}(0) [Wh/m^2]; \text{ onde } D_{dm} \text{ é a radiação difusa}$$

$$\text{Eq. (22)} \quad B_{dm}(0) = G_{odm}(0) - D_{dm}(0) [Wh/m^2]; \text{ onde } B_{dm} \text{ é a radiação directa}$$

Após termos os valores médios mensais, para passá-los para valores médios horários, utiliza-se o método de cálculo de *Liu e Jordan*:

$$\text{Eq. (23)} \quad rd = \frac{\pi \cdot (\cos \omega - \cos \omega s)}{24 \cdot (\omega s \cdot \cos \omega s - \sin \omega s)} [s/un];$$

$$\text{Eq. (24)} \quad rg = \frac{\pi \cdot (a + b \cdot \cos \omega) \cdot (\cos \omega - \cos \omega_s)}{24 \cdot (\omega_s \cdot \cos \omega_s - \sin \omega_s)} [s/un];$$

Onde a e b são:

$$\text{Eq. (25)} \quad a = 0,409 - 0,5016 \cdot \sin(\omega_s + 1,047) [s/un]$$

$$\text{Eq. (26)} \quad b = 0,6609 - 0,4767 \cdot \sin(\omega_s + 1,047) [s/un]$$

Após termos estes factores, a transformação dos valores médios mensais em valores médios horários da radiação global e difusa são obtidos com as seguintes equações:

$$\text{Eq. (27)} \quad D_{hm}(0) = rd \cdot D_{dm}(0) [Wh/m^2]$$

$$\text{Eq. (28)} \quad G_{hm}(0) = rg \cdot G_{dm}(0) [Wh/m^2]$$

Precisamos de ter em conta que nem todos os valores estão correctos. Só os valores que têm o ângulo horário entre os ângulos de entrada e saída do Sol serão válidos.

6 Estimar radiação global, directa, difusa e reflectida num plano inclinado.

Agora que já temos todos os elementos da radiação num plano horizontal na superfície terrestre, podemos estimar a radiação num painel arbitrariamente colocado. Este painel pode ter qualquer inclinação e qualquer azimute.

A radiação global sobre a superfície inclinada será então a soma das três componentes da radiação. As três componentes que existem são: radiação directa $B_{hm}(\beta, \alpha)$, radiação difusa $D_{hm}(\beta, \alpha)$ e radiação de reflexão $R_{hm}(\beta, \alpha)$.

Eq. (29) $G_{hm}(\beta, \alpha) = B_{hm}(\beta, \alpha) + D_{hm}(\beta, \alpha) + R_{hm}(\beta, \alpha) [Wh/m^2]$; onde β é a inclinação e α o azimute da superfície.

Resumidamente serão descritas as equações que nos permitem chegar a estes valores.

6.1 Radiação Directa

Eq. (30) $B(\beta, \alpha) = B(0) \cdot \frac{\max(0, \cos \theta_s)}{\cos \theta_{zs}} [Wh/m^2]$; radiação directa

6.2 Radiação Difusa

Existem vários métodos para determinar a radiação difusa. O método escolhido é o de Klucher. É basicamente um método anisotrópico, que aplica um factor de modelação ao valor de radiação.

Eq. (31) $D(\beta, \alpha) = (1 + k \cdot \cos^2 \theta_s \cdot \sin^3 \theta_{zs}) \left(1 + k - \sin^3 \frac{\beta}{2} \right) \cdot \frac{(1 + \cos \beta) \cdot D(0)}{2} [Wh/m^2]$

Onde $k = 1 - \left(\frac{D(0)}{G(0)} \right)^2$

Note-se que este método é muito preciso para as superfícies com azimute nulo ($\alpha=0$).

6.3 Radiação Reflectida

Esta poderá ser desprezável se o ambiente envolvente à superfície tiver um índice de reflectividade baixo, mas no caso de querermos um cálculo mais exacto deve ser considerada. Quando se trata de superfícies horizontais esta radiação é nula.

A equação que permite determinar esta radiação é a seguinte:

$$\text{Eq. (32)} \quad R(\beta, \alpha) = (1 - \cos \beta) G(0) \cdot \frac{\rho}{2} [\text{Wh} / \text{m}^2]$$

Onde ρ é o coeficiente de reflectividade do solo. A tabela seguinte dá valores indicativos.

Tipo de Solo	Coeficiente de Reflectividade (ρ)
Seco	0,2
Erva Húmida	0,3
Areia	0,4
Neve	0,6

Tab. (1) - Valores típicos de reflectividade

7 Caracterização dos elementos geradores:

Os sistemas fotovoltaicos produzem energia eléctrica através da radiação solar. São sistemas de elevada fiabilidade, de baixa manutenção, com ausência de ruído e não poluentes. As características do solar fotovoltaico fazem que a instalação deste tipo de sistemas seja bastante atractiva em locais onde não exista rede de distribuição de energia eléctrica (para sistemas isolados), por razões ambientais ou até por razões de ordem estética.

A produção de Energia Eléctrica utilizando a radiação solar baseia-se na célula fotovoltaica.

O seu princípio de funcionamento é explicado no esquema seguinte.

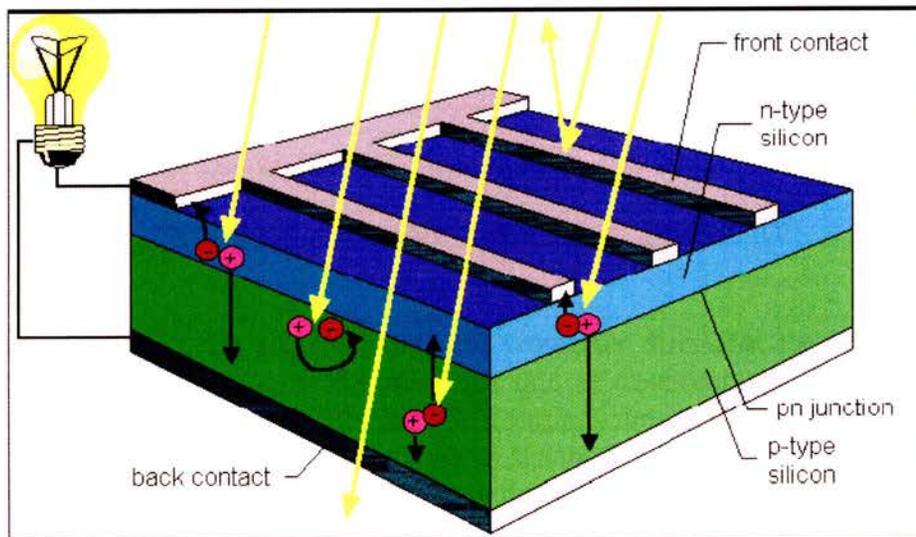


Fig. (6) – Princípio de funcionamento de uma célula fotovoltaica

Os fótons provenientes da luz solar ao incidirem nos átomos de silício, aumentam a energia de alguns dos seus electrões que subindo de nível energético, escapam do átomo que fica assim com uma carga positiva, passando os electrões da banda de valência para a banda de condução dando origem à criação de pares electrão – lacuna. Os electrões arrancados formam um eléctrodo positivo, o ânodo, sendo recolhidos num colector que fica negativo, o cátodo.

A conversão directa da radiação solar em electricidade consegue-se em materiais semicondutores, com campos eléctricos internos capazes de acelerar os pares electrão – lacuna criados por incidência dos fótons solares de forma a gerar uma corrente eléctrica que alimenta um circuito eléctrico exterior. Assim surge o conceito de Efeito Fotovoltaico.

Além dos materiais semicondutores, a célula fotovoltaica apresenta dois contactos metálicos, em lados opostos, para fechar o circuito eléctrico. O conjunto encontra-se encapsulado entre um vidro e um fundo, essencialmente para evitar a sua degradação com os factores atmosféricos: vento, chuva, poeira e mantendo-se assim as condições ideais de operação por dezenas de anos.

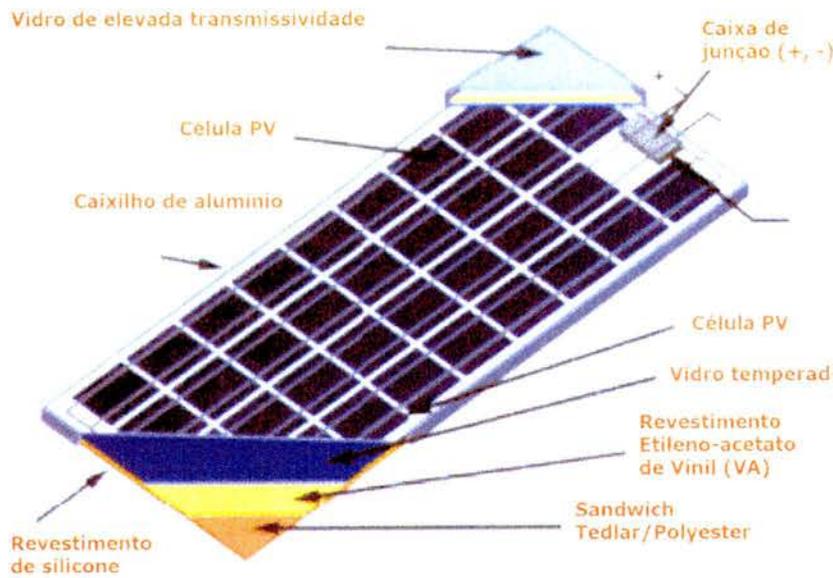


Fig. (7) – Constituição de um painel fotovoltaico

A função de uma célula solar consiste em converter directamente uma irradiação solar em electricidade a partir de processos que se desenvolvem ao nível atómico nos materiais de que são constituídas. Se compararmos a eficiência das primeiras células solares (anos 50) de 1 a 2%, com os sistemas actuais que convertem de 8 a 23%, verificamos um aumento da eficiência das células.

Existem três tipos principais de células solares:

As células mono cristalinas foram as primeiras células a serem produzidas. Possuem um elevado rendimento eléctrico (aproximadamente 16%, podendo subir até cerca de 23% em laboratório). Este tipo de células necessita de uma elevada quantidade de energia para o seu fabrico devido à exigência de se usar materiais em estado muito puro e com uma estrutura de cristal perfeita. Devido ao facto de o seu processo de fabrico ser muito complexo o seu preço é elevado.

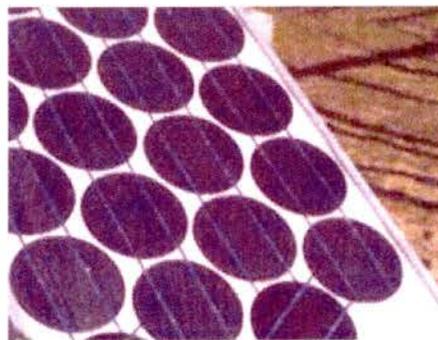


Fig. (8) – Células mono cristalinas

As células policristalinas necessitam de menos energia para o seu fabrico e os processos de fabrico são menos exigentes, logo têm um custo de produção inferior. Como o seu sistema de produção é menos exigente, o cristal é menos perfeito, ou seja, possui certas imperfeições daí o facto de estas células terem rendimentos eléctricos ligeiramente inferiores às anteriores (entre 11% e 13%, obtendo-se até 18% em laboratório).

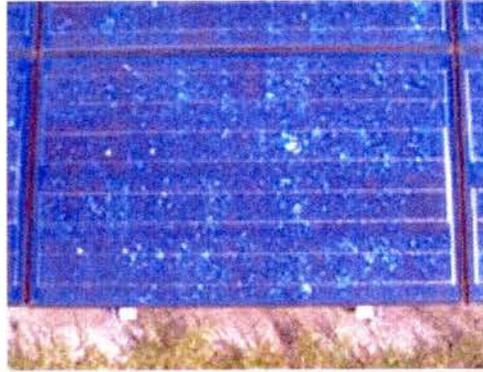


Fig. (9) – Células policristalinas

As células de silício amorfo são as que apresentam um custo mais reduzido, mas em contrapartida o seu rendimento eléctrico é também o mais reduzido (aproximadamente 8% a 10%, ou 13% em laboratório). As células de silício amorfo são películas muito finas, o que permite serem utilizadas como material de construção, tirando ainda o proveito energético.



Fig. (10) – Células de silício amorfo

Uma célula individual, unidade de base dum sistema fotovoltaico, produz apenas uma reduzida potência eléctrica, o que tipicamente varia entre 1 e 3 W, com uma tensão menor de 1 Volt. Para disponibilizar potências mais elevadas, as células são integradas, formando um módulo (ou painel). Ligações em série de várias células aumentam a tensão disponibilizada, enquanto que ligações em paralelo permitem aumentar a corrente eléctrica.

7.1 Efeito da temperatura:

As características eléctricas das células estão directamente relacionadas com a temperatura a que estas estão sujeitas.

Para determinarmos a temperatura a que as células vão operar, utilizamos a seguinte expressão:

$$\text{Eq. (33)} \quad T_{\text{painel}} = T_{\text{amb}} + \frac{\text{NOTC} - 20}{800} \cdot (219 + 823 \cdot K_T) [^{\circ}\text{C}];$$

Onde:

- T_{painel} é a temperatura de operação do painel
- T_{amb} é a temperatura ambiente
- NOTC é a temperatura nominal de operação
- K_T é o índice de claridade

Seguidamente aplicamos um factor de correcção às grandezas eléctricas do painel.

Começamos por fazer a correcção da corrente produzida pelo painel. Fica então:

$$\text{Eq. (34)} \quad I_{p_ef} = I_{p_cc}(25^{\circ}\text{C}) \cdot (1 + \alpha \cdot (T_{\text{painel}} - 25)) [A];$$

Onde:

- I_{p_ef} é a corrente eficaz do painel,
- $I_{p_cc}(25^{\circ}\text{C})$ é a corrente de curto circuito do painel a 25°C ,
- α é o coeficiente de temperatura para a corrente (%),
- T_{painel} é a temperatura de funcionamento do painel.

A correcção de temperatura também se aplica igualmente à tensão, mas só para os sistemas que vão ser interligados com dispositivos que possuam tecnologia MPPT (*Maximum Power Point Tracking*). Para os restantes não se aplica a correcção da temperatura para a tensão.

A tensão do painel corrigida é:

$$\text{Eq. (35)} \quad V_{p_ef} = V_{p_oc}(25^{\circ}\text{C}) \cdot (1 - \beta \cdot (T_{\text{painel}} - 25)) [V]$$

Onde:

- V_{p_ef} é a tensão eficaz do painel,
- $V_{p_oc}(25^{\circ}\text{C})$ é a tensão do painel em circuito aberto a 25°C ,
- β é o coeficiente de temperatura para a tensão (%),
- T_{painel} é a temperatura de funcionamento do painel.

7.2 Potência efectiva produzida por um painel

Para determinarmos a energia gerada pelo painel, aplicamos as seguintes expressões:

Para sistemas isolados (ligado a baterias):

$$\text{Eq. (36)} \quad E_{dia} = \frac{G_{dm}}{1000} \cdot V_{sist} \cdot I_{p_ef} [Wh]$$

Onde:

- E_{dia} é a energia produzida um dia em Wh,
- G_{dm} é a radiação global média diária no painel em Wh,
- V_{sist} é a tensão do sistema isolado,
- I_{p_ef} é a corrente eficaz do painel.

Para sistemas ligados à rede com sistema MPPT:

$$\text{Eq. (37)} \quad E_{dia} = \frac{G_{dm}}{1000} \cdot V_{p_ef} \cdot I_{p_ef} \cdot \eta_{MPPT} [Wh]$$

Onde:

- E_{dia} é a energia produzida um dia em Wh,
- G_{dm} é a radiação global média diária no painel em Wh,
- V_{p_ef} é a tensão eficaz do painel,
- I_{p_ef} é a corrente eficaz do painel,
- η_{MPPT} é o rendimento do sistema MPPT

8 Apresentação do FVSOL@R.

Nesta secção iremos descobrir e demonstrar as características e potencialidades desta aplicação.

Estamos perante um Software desenvolvido especificamente para o ambiente *Windows*, programado na linguagem Visual Basic .Net pelo que necessita de um *addon* incluído no CD de instalação. No caso do PC não possuir esta aplicação e de forma a evitar qualquer problema de incompatibilidade, o FVSOL@R detecta a existência do *Microsoft .Net Framework v2.0*.

8.1 Características essenciais:

- Linguagem: Português,
- Específico para os três possíveis regimes de sistemas fotovoltaicos: isolado, ligado à rede e regime especial (produtor/consumidor),
- Funciona para qualquer localização a nível global,
- Base de dados totalmente actualizável com: características dos locais, painéis solares, inversores para os três tipos de regime, reguladores de carga e baterias,
- Hiperligação a *sites* com informação de radiação solar,
- Posição dos painéis solares totalmente arbitrária,
- Optimização de inclinação dos painéis,
- Apresentação de tabelas e gráficos para diversos valores e períodos,
- Especificação de consumos para sistemas isolados,
- Dimensionamento automático das quantidades de equipamentos,
- Estudo económico,

Nota: Este programa não realiza cálculo com sombreamentos.

8.2 Página inicial: Definições do tipo de sistema e localização:

The screenshot shows the 'FVSOLeR-Projecto de Sistemas Fotovoltaicos' application window. The 'Definição do Sistema' menu is active, showing options: 'Consumos', 'Painéis', 'Inversores', 'Regulador de Carga', 'Baterias', 'Isolado', 'Ligado a rede', and 'Produtor/Consumidor'. The 'Tipo de Sistema' dropdown is set to 'Isolado (FV)'. The 'Localização' dropdown is also set to 'Isolado (FV)'. A table shows monthly radiation and temperature data. The 'Instalação dos Painéis' section shows 'Inclinação (°)' at 60 and 'Azimut (°)' at 0. There are buttons for 'Fechar', 'Novo', 'Optimizar', and 'Calcular'. Two URLs are provided for updating data.

	Radiação Média Diária (Wh/m ²) por Mês	Temperatura Média Diária (°C) por Mês
Janeiro	2060	11
Fevereiro	2560	12
Márço	4200	13
Abril	5610	13.7
Maió	6600	16.7
Junho	7580	19.8
Julho	7700	23.1
Agosto	6920	23.7
Setembro	5200	22.2
Outubro	3520	19.4
Novembro	2320	15.4
Dezembro	1850	9

Fig. (11) – Ambiente inicial

Neste menu, o primeiro passo é a definição do tipo de sistema pretendido. As opções são três:

- Isolado
- Ligado à rede
- Produtor/Consumidor

The close-up shows the 'Tipo de Sistema' dropdown menu with three options: 'Isolado (FV)', 'Ligado à rede (FV)', and 'Produtor/Consumidor (FV)'. The 'Isolado (FV)' option is currently selected.

Fig. (12) – Tipo de Sistema

Após esta selecção, definimos as características do local em estudo. Existem já algumas localidades pré inseridas mas no caso de a pretendida não se encontrar disponível podemos ir aos *sites* sugeridos e actualizar a informação:

- <http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/RETScreen/>
- <http://re.jrc.ec.europa.eu/prgis/solradframe.php?en&europe>

Basta *clicar* no *site* e imediatamente será direccionado para o endereço electrónico.

No caso de a cidade estar na base de dados, basta selecciona-la e automaticamente todos os dados serão alterados.

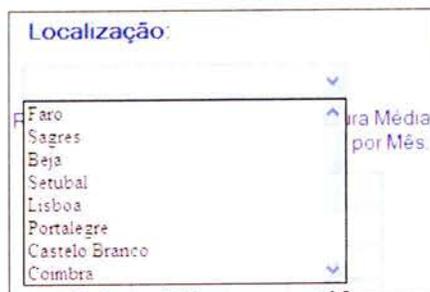


Fig. (13) - Escolha da localização

No caso de a localização não estar predefinida e pretendermos que faça parte da nossa base de dados, basta alterarmos os valores de radiação, temperatura, latitude, longitude e longitude do meridiano de origem do fuso horário e clicar em adicionar.

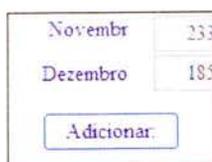


Fig. (14) - Adicionar localidade

No caso de pretendermos simular para a mesma localidade diferentes valores de radiação e temperatura, podemos atribuir o mesmo nome e quando a seleccionarmos o programa saberá exactamente qual a pretendida.

Uma nota muito importante quanto às localizações geográficas. Está definido como base que as longitudes a Este do meridiano de Greenwich serão positivas e a Oeste negativas.

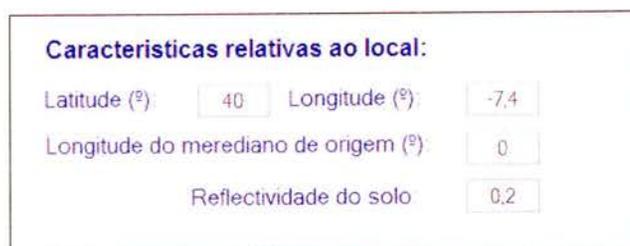


Fig. (15) - Dados geográficos

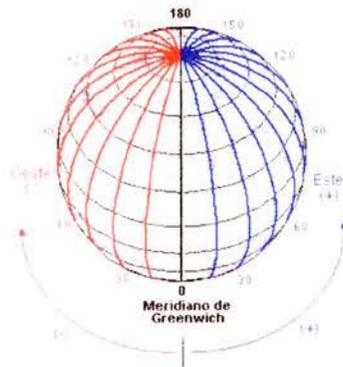


Fig. (16) – Sinal das longitudes

Seguidamente iremos introduzir a informação relativa à instalação dos painéis solares. No caso de sabermos a inclinação, podemos perfeitamente defini-la. No caso de não sabermos qual a inclinação que maximiza a produção de energia para o pior período (Inverno) para sistemas isolados ou qual a inclinação que maximiza a produção anual para os restantes sistemas, existe a opção de otimizar a inclinação.

Instalação dos Painéis:

Inclinação (°)

Azimut (°)

Fig. (17) – Definição da inclinação e azimute do painel

No caso de tentarmos otimizar o sistema sem previamente termos definido o sistema, o Software automaticamente lembrará o utilizador para o realizar.

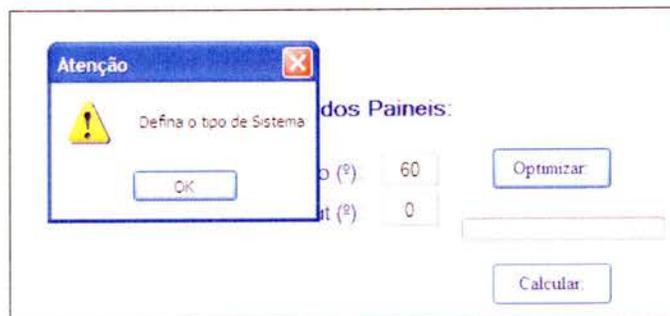


Fig. (18) – Mensagem de aviso de falta de parâmetros

Quando estiverem todos os passos realizados, após o *click* em *optimizar*, uma barra de progressão irá indicar a conclusão do processo.

O passo seguinte é pedir ao FVSOL@R para calcular os níveis de radiação a que o painel irá ficar sujeito ao longo de um ano.

Depois dessa informação estar devidamente definida, poderemos consultar tabelas e gráficos com os valores de radiação directa, difusa, reflectida e global. Outra informação só estará disponível posteriormente.

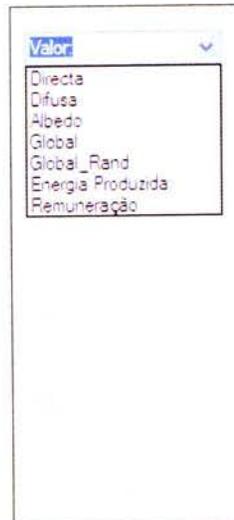


Fig. (19) – Lista de dados Disponível.

Cada listagem só estará disponível se todos os passos anteriores forem definidos correctamente. Os passos a seguir são:

- Definição do tipo de valor que queremos visualizar.
- No caso da radiação, podemos verificar os níveis em dois locais: solo ou painel.
- Qual o período que queremos visualizar, valores anuais, mensais ou diários. Existe ainda a opção *horários* que nos dá a informação do parâmetro pretendido para todas as horas, todos os dias no ano. Esta tabela torna-se de difícil visualização, mas pode ser exportada para o Excel para tratamento da informação.

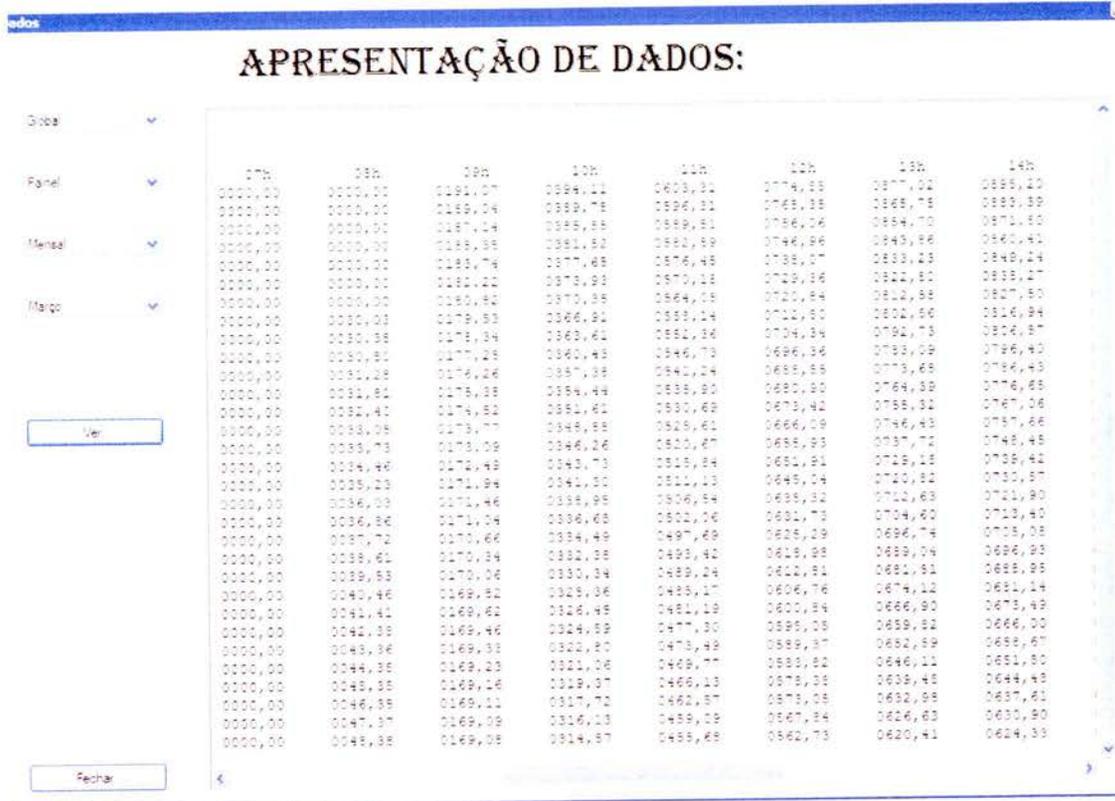


Fig. (20) – Apresentação de dados

Existe ainda a opção visual de verificarmos a informação gerada, desta forma torna-se mais perceptível a ordem de grandeza e de resposta do sistema. Para isso basta premir o botão *ver gráficos* e uma nova janela abrirá. O modo de seleccionar o que pretendemos visualizar é em tudo idêntico à janela de *apresentação de dados*, com a diferença de que as opções disponíveis são:

- Valor a visualizar: radiação ou energia produzida (só disponível no final do dimensionamento)
- Local em estudo da radiação: Painel ou solo
- Período de visualização: Anual, mensal, diário
- No caso das opções mensal e diário é possível escolhermos o mês e o dia.



Fig. (21) - Apresentação de gráficos.

Este gráfico apresenta automaticamente as três (local: *solo*) ou quatro componentes (local: *panel*) da radiação.

Esta ferramenta é muito útil para termos a percepção da influência da inclinação do painel ao longo de um ano. Note-se que para maiores ângulos de inclinação, comprometemos a captação da radiação nos períodos (Verão) onde a elevação solar tende para o máximo, mas nos períodos (Inverno) onde existe menos quantidade de radiação extraterrestre a chegar ao solo e a elevação solar tende para o mínimo, o painel vai captar maior quantidade de radiação pois o ângulo de incidência é quase nulo.

8.3 Tipo de sistema: Isolado

8.3.1 Definição dos consumos

Se o nosso sistema em estudo é em regime isolado, a primeira situação que temos de definir são os consumos.

O FVSOL@R apenas tem a capacidade de definir os consumos diários. O utilizador deve ter presente à partida que estes deverão ser referidos ao período mais complicado (Inverno) em termos de radiação solar. A definição dos consumos é bastante simples e existem campos com os equipamentos mais comuns numa habitação.

Os campos a preencher para os diversos equipamentos são:

- Quantidade de equipamentos
- Potência do equipamento por unidade
- Tipo de alimentação (DC ou AC)
- Número de horas de utilização diária
- Factor de simultaneidade para o caso de existirem mais do que um equipamento no mesmo grupo (factor 1 para todos os equipamentos ligados, 0,5 para metade dos equipamentos a funcionar nas horas de utilização)

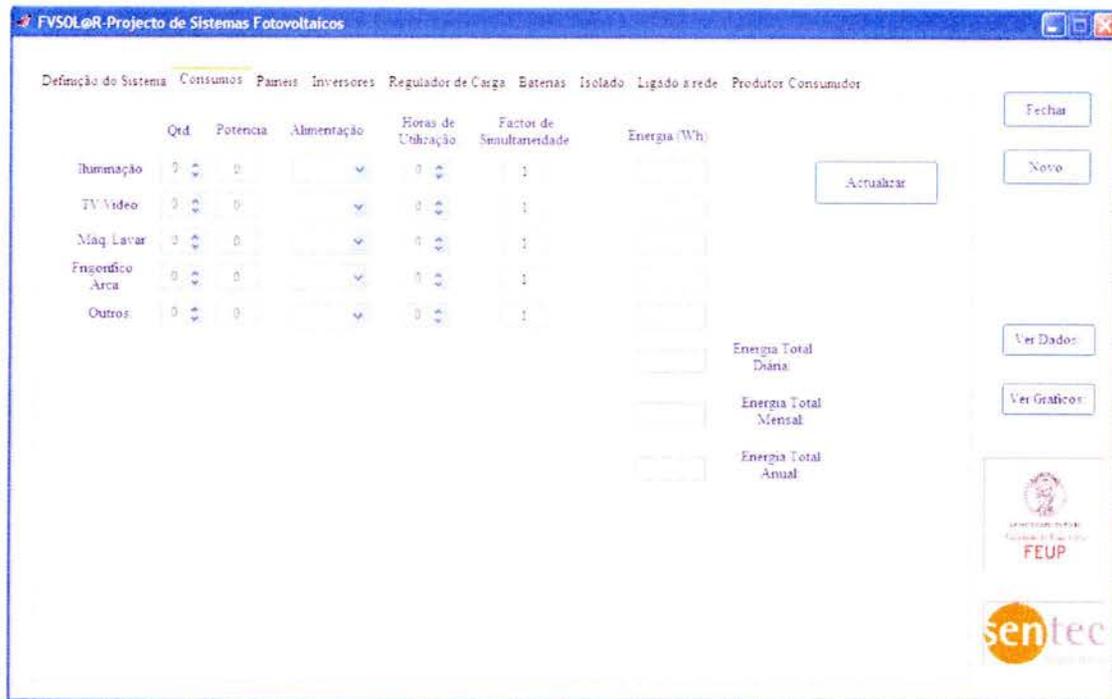


Fig. (22) – Definição de Consumos

É importante definir o tipo de alimentação do equipamento, pois se o campo estiver vazio este será considerado como sendo uma carga DC, influenciando assim o dimensionamento posterior.

No campo *outros*, podem ser agrupados todos os outros equipamentos não contemplados. A maneira mais simples de adicionar à carga do sistema equipamentos com potências diferentes é somar todas as potências e aplicar apenas uma quantidade.

Após definidos os consumos, actualiza-se a quantidade de energia diária, mensal e anual.

8.3.2 Definição dos painéis solares

O próximo passo é a escolha do tipo de painel que vamos utilizar. Existe já uma base de dados com alguns painéis solares, mas o FVSOL@R tem a possibilidade de actualização.

Seleccionando um item na lista de painéis, a informação irá ser transferida para os respectivos campos. A informação associada a cada painel será:

- Marca
- Modelo
- Tecnologia (policristalino, monocristalino, silício amorfo, etc.)
- Potência Nominal
- Eficiência
- Tensão à potência nominal
- Corrente à potência nominal
- Tensão em circuito aberto
- Corrente de curto-circuito
- Coeficiente de temperatura V_{oc}
- Coeficiente de temperatura I_{sc}
- NOTC (*Nominal Operating Temperature Coefficient*)
- Tensão máxima
- Preço



Fig. (23) – Escolha do painel solar

O campo preço estará pré preenchido, mas permite a sua alteração sem alterar na base de dados.

Para adicionarmos um painel à base de dados, basta clicar no respectivo botão e novo interface irá surgir. É necessário ter em atenção alguns aspectos para adicionarmos com sucesso um novo equipamento.

De um modo geral, quando uma marca tem um produto, existe uma ficha técnica detalhada. Antes de adicionarmos o equipamento devemos primeiro retirar uma imagem exemplificativa do produto com as dimensões de 150x150 pixels em formato *jpeg*. O nome do ficheiro deverá ser apenas o modelo do equipamento. O ficheiro deverá ser copiado para a pasta respectiva dentro do directório do FVSOL@R, neste caso para a pasta *Painéis*. Após esta operação, na janela da base de dados, abrir a imagem e seleccionar a pretendida. Note-se que o campo *modelo* automaticamente será preenchido.

A marca do painel poderá já existir na base de dados, para isso basta apenas selecciona-la. No caso de ainda não existir, escreve-se a marca, que posteriormente será adicionada. O mesmo acontece para a tecnologia das células. Poderá não fazer parte da actual base de dados mas de igual modo poderá ser acrescentada.

Será então necessário preencher todos os campos correctamente, daí a necessidade da existência de uma *datasheet* detalhada do painel. Quando se salvar o equipamento, o FVSOL@R verificará a existência de um produto igual. Considera-se igual um equipamento com a mesma Marca e Modelo.

Fig. (24) – Base de dados dos painéis solares.

O campo do preço pode não ser exactamente certo, pois após a selecção do painel está disponível para ser editado.

A ordenação da lista de painéis solares será por ordem de entrada.

Após actualizada a base de dados, toda a informação será gravado no disco e ficará sempre disponível, mesmo após o encerramento do programa.

8.3.3 Definição do inversor

O próximo passo no dimensionamento de sistemas isolado é a escolha do Inversor. Este equipamento só será necessário se as cargas foram alimentadas a AC. O FVSOL@R automaticamente irá detectar e avisar o utilizador se estamos perante esse caso.

No mercado existem dois tipos de inversores: para ligação à rede e para sistemas isolados. A principal diferença é na tensão de entrada dos inversores. Para sistemas isolados, as tensões disponíveis são 12, 24 e 48V, para ligar directamente às baterias. No caso de inversores de rede a tensão de ligação será geralmente a partir dos 150V.

Mais uma vez o FVSOL@R se encarregará de verificar se o utilizador respeitou estas especificações.

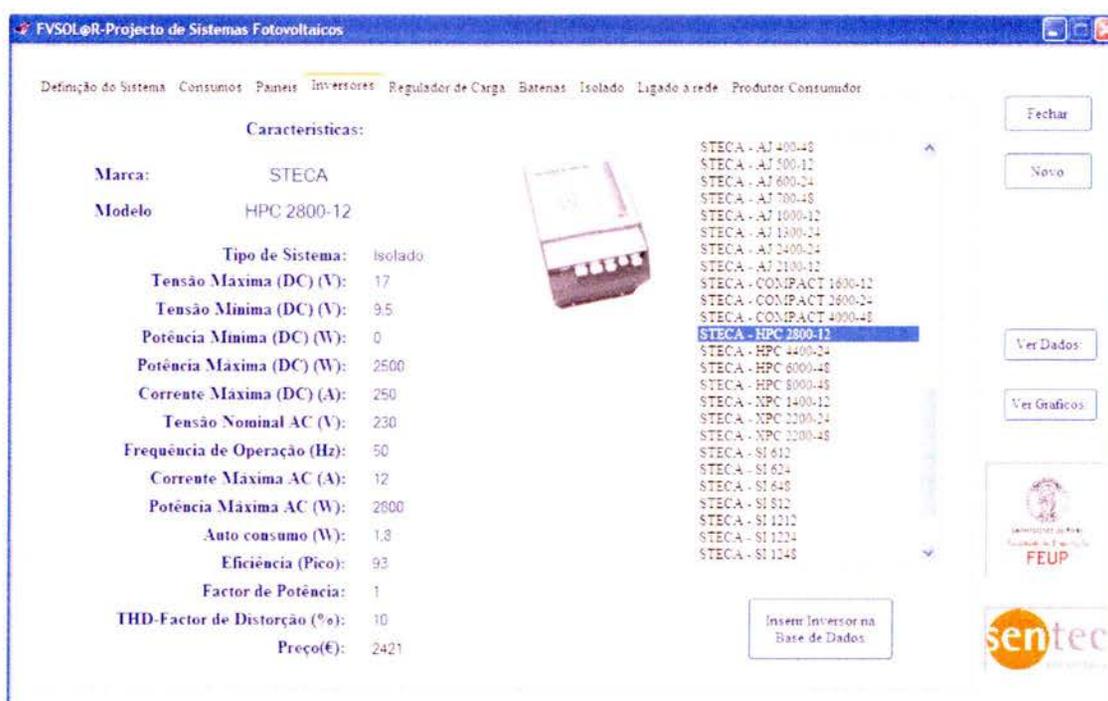


Fig. (25) – Escolha do Inversor

Os dados disponíveis na base de dados são:

- Marca
- Modelo
- Tipo de sistema: isolado ou ligado à rede
- Tensão máxima e mínima de entrada DC
- Potência máxima e mínima de entrada DC

- Corrente máxima de entrada DC
- Tensão nominal de saída AC
- Frequência de Operação
- Corrente máxima de saída AC
- Potência máxima de saída AC
- Auto Consumo
- Eficiência máxima (Norma Europeia)
- Factor de potência
- Factor de distorção
- Preço

À semelhança dos painéis solares, o FVSOL@R possui igualmente uma base de dados para os inversores. A janela que permite a adição de outros equipamentos está representada na figura seguinte e acede-se seleccionando o botão de *inserir inversor*.

Fig. (26) – Base de dados dos inversores.

8.3.4 Definição do regulador de carga

O próximo passo consiste em definirmos um regulador de carga para as baterias. Existe no mercado uma vasta gama destes equipamentos e existem ainda inversores que já possuem a funcionalidade carga das baterias. O FVSOL@R não faz a gestão desta característica, pois já envolve mais informação detalhada nas *datasheets* dos inversores. Em muitos casos, apesar dos inversores terem estas funcionalidades pode ser preferível subdividirmos funções pois assim aumentamos a fiabilidade do sistema.

As principais características apresentadas para os reguladores de carga são:

- Marca
- Modelo
- Tensão máxima e mínima DC
- Corrente de curto – circuito máxima da *string* de painéis solares
- Consumo
- Preço

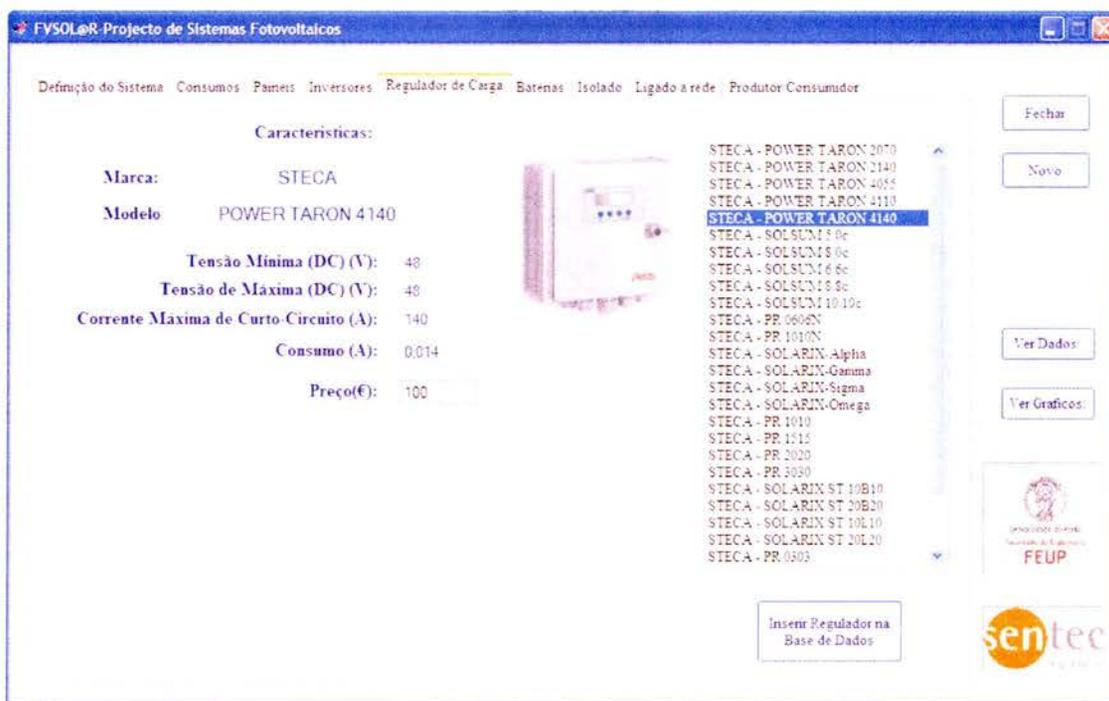


Fig. (27) – Escolha do regulador de carga

Note-se que existem equipamentos que têm uma gama de tensão de entrada. No caso da figura n.º 27, o regulador só está especificado para funcionar nos 48V, daí o valor máximo e mínimo coincidirem.

Do mesmo modo podemos adicionar à base de dados mais reguladores de carga. A interface e os passos a seguir são em tudo iguais à actualização da base de dados dos painéis solares e inversores.

8.3.5 Definição das baterias

Para finalizar a escolha dos diversos componentes de uma instalação, é necessário definirmos as baterias. Geralmente é difícil encontrar *datasheets* de baterias completas e com informação detalhada sobre condições de descarga, capacidades para várias horas e efeitos de temperatura. Por essa razão, o FVSOL@R é simplista no que se refere às baterias. As únicas informações disponíveis são:

- Marca
- Modelo
- Tensão
- Capacidade da bateria a 100 horas (C100)
- Preço

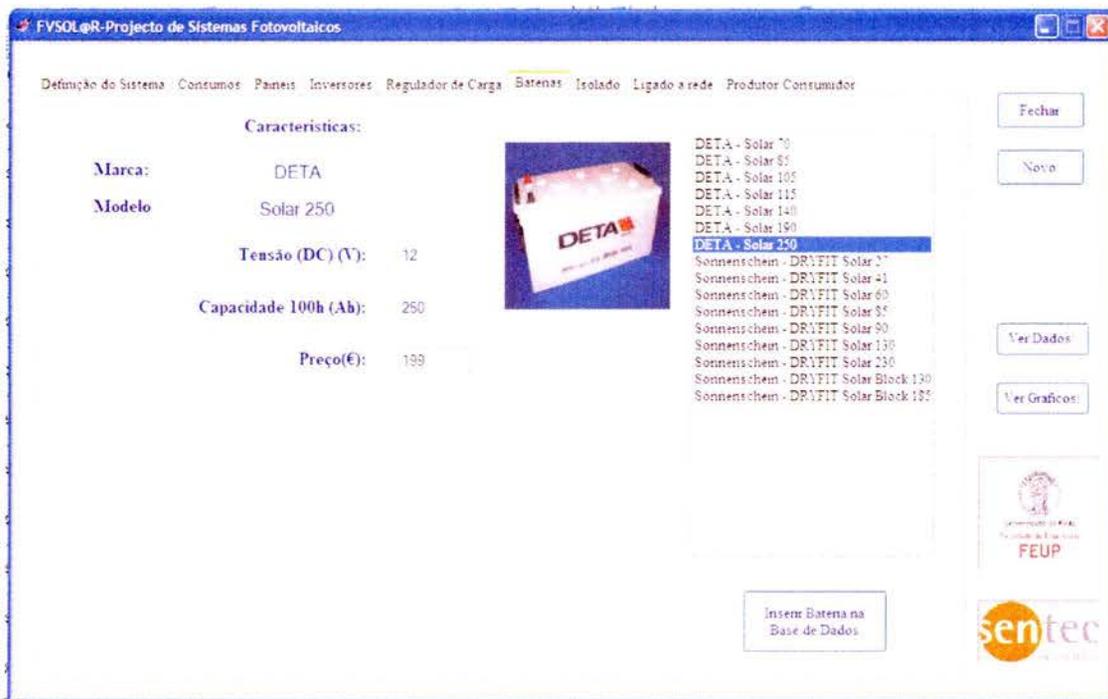


Fig. (28) – Escolha da bateria

Devido ao avanço tecnológico, as baterias possuem integradas dispositivos que não permitem a descarga profunda, sobrecargas e conseqüente desgaste que pode colocar em risco a vida das baterias. Por redundância, os reguladores de carga além de terem estas funções, possuem um microprocessador atômico que cria funções e algoritmos de carga das baterias. Basicamente controlam a diferença de potencial entre a bateria e o painel solar de modo a que a corrente de recarga não ultrapasse os parâmetros previamente definidos. No regulador de carga podemos definir o tipo de bateria que possuímos (Gel ou ácida) para maximizarmos a vida útil da mesma.

Mais uma vez, a base de dados é actualizável, seguindo sempre os passos referidos para os restantes equipamentos.

8.3.6 Dimensionamento e estudo económico do sistema isolado

Finalmente, após todos os componentes principais da instalação estarem definidos, chegou à altura de determinarmos quantidades e desempenho do sistema.

Nesta última janela, encontram-se os campos que definem as opções que o utilizador quer dar ao sistema.

Fig. (29) – Dimensionamento final do sistema e estudo económico

Número de dias de autonomia:

O primeiro procedimento a ter é a definição de quantos dias de autonomia deve o sistema ser capaz de oferecer em caso de ausência de Sol. Este factor influencia primordialmente a capacidade mínima das baterias.

Número de dias de recarga das baterias:

No segundo campo define-se quantos dias damos ao sistema para recarregar a energia descarregada num dia de operação. Este factor influencia a quantidade de painéis a aplicar na instalação.

Factor de segurança:

Existe um campo para o factor de segurança. Este factor vai acabar por sobredimensionar a instalação permitindo uma maior margem de manobra nas cargas. O fim para o qual a instalação vai servir é fundamental para a definição deste factor. Se estivermos perante um sistema que exija um deslastre de carga reduzido ou nulo, este factor deve ser maximizado. Note-se que se os consumos forem bem especificados, não há grande necessidade de termos um elevado sobredimensionamento do sistema.

Tensão de geração:

O utilizado especifica a tensão de geração do sistema. Os valores válidos são 12, 24 e 48V. Isto devido à associação das baterias terem estes valores na maioria das vezes e devido às especificações dos equipamentos no mercado.

Profundidade de descarga:

Este parâmetro define qual a profundidade máxima a que as baterias devem ser sujeitas. Na maioria dos casos, as baterias além de possuírem dispositivos de protecção assim como o próprio regulador de carga/inversor, os valores anunciados para a capacidade poderá já englobar esta característica. Devido a estas indefinições das baterias é conveniente em caso de dúvida utilizar valores entre os 80 e 70%.

Rendimento da bateria:

Outra característica não contemplada geralmente nos catálogos é o rendimento da bateria. Poderemos associar a este rendimento um factor de descarga geralmente caracterizado pelo fabricante.

Dimensionamento:

Para o FVSOL@R chegar aos valores finais, são executadas várias rotinas e funções as quais vão ser descritas seguidamente.

Número mínimo de painéis:

O número mínimo de painéis é determinado segundo a seguinte equação:

$$Eq. (1) \quad N_m = \frac{E_{Carga} \cdot F_{Seg}}{E_{Diária} \cdot N_{D_CICLO}} [s/un]$$

Onde:

- N_m é o número mínimo de painéis a instalar,
- E_{carga} é a energia consumida num dia,
- F_{seg} é o factor de segurança,
- $E_{Diária}$ é a energia diária gerada por um painel (no pior mês),
- N_{D_CICLO} é o número de dias de um ciclo de recarga,

Note-se que existe uma ligeira alteração nas equações que geralmente se costumam observar. Considerando que existe oscilação nos consumos diários e que na maior parte das vezes exageramos na definição desses consumos, por vezes não existe necessidade de recarregarmos as baterias apenas num dia, já que estas estão dimensionadas para aguentar mais dias. Por esse motivo, podemos considerar que em dois dias a energia será restituída. Se o sistema for bem pensado, isto ajuda a que a potência a instalar não seja muito elevada, pois no Verão teremos muita energia que não será aproveitada.

É aconselhado para a instalação não ficar extremamente cara, o uso combinado de energia solar com eólica ou um grupo diesel. Os inversores possuem contactos auxiliares que enviam uma ordem aos grupos diesel com arranque eléctrico, quando as baterias estejam numa situação de descarga profunda.

Outra sugestão é criar um barramento comum, e com uma mini turbina eólica ajudar a carregar as baterias, com a vantagem de mesmo à noite, com a existência de vento, gerarmos energia.

Número de painéis em série.

O número de painéis em série vai ser:

$$Eq. (38) \quad N_{ps} = \frac{V_{Nominal}}{V_{PN}} [s/un];$$

Onde:

- N_{ps} será o número de painéis em série
- $V_{nominal}$ é a tensão que o utilizador especifica para o sistema
- V_{PN} é a tensão do painel à potência máxima

Mais uma vez, a equação introduz uma alteração às fórmulas mais encontradas. A troca no cálculo da tensão em circuito aberto para a tensão à potência máxima.

A justificação prende-se com o seguinte: se tivermos um sistema a 48V e aplicarmos o painel KYOCERA KC175GHT-2, a tensão em circuito aberto é de 29,2V. Ou seja, precisávamos apenas de dois painéis em série (58,4V). Quando as baterias estão carregadas, o regulador de carga vai abrir o sistema e a tensão disponível vai ser superior aos 48V. Mas no caso das baterias estarem descarregadas e os painéis estejam a fornecer a corrente máxima, a tensão baixa para menos dos 47,2V (em condições STC), ou seja, passamos a ter uma tensão inferior à tensão do sistema. Quando estamos a receber menos radiação solar, a situação agrava-se pois é mais difícil fornecer a mesma corrente e a tensão manter-se acima do sistema.

Número de painéis em paralelo:

O número de painéis em paralelo será:

$$\text{Eq. (39)} \quad N_{pp} = \frac{N_m}{N_{ps}} [s/un]$$

Onde:

- N_{pp} é o número de painéis em paralelo,
- N_m é o número mínimo de painéis,
- N_{ps} é o número em série de painéis,

Número total de painéis solares:

O número total de painéis é:

$$\text{Eq. (40)} \quad N_{TOT_P} = N_{pp} \cdot N_{ps} [s/un]$$

Onde:

- N_{TOT_P} é o número total de painéis,
- N_{pp} é o número de painéis em paralelo,
- N_{ps} é o número de painéis em série,

Fica assim definido o número de painéis solares da instalação.

Número de reguladores de carga:

O número de reguladores de carga é determinado consoante a corrente de curto-circuito de uma série de painéis solares. É uma característica dada pelo fabricante qual a corrente de curto-circuito máxima que se pode ligar ao regulador. Sendo assim a equação fica:

$$\text{Eq. (41)} \quad N_{reg_carga} = \frac{N_{pp} \cdot I_{sc}}{I_{cc_reg}} [s/un]$$

Onde:

- N_{reg_carga} é o número de reguladores de carga,
- N_{pp} é o número de painéis em paralelo,
- I_{sc} é a corrente de curto-circuito dos painéis,
- I_{cc_reg} é a corrente máxima permitida do regulador,

Número de baterias:

O número de baterias é determinado após o cálculo da capacidade mínima que o sistema deve ter para as condições estabelecidas (carga no sistema, número de dias de autonomia, profundidade de descarga e rendimento da bateria). A equação que permite chegar a esse valor é a seguinte:

$$\text{Eq. (42)} \quad C_{bat_min} = \frac{E_{carga} \cdot N_{DAut}}{V_{n_s} \cdot P_{DMAX} \cdot \eta_{bat}} [Ah]$$

Onde:

- C_{bat_min} é a capacidade mínima das baterias,
- E_{carga} é a energia consumida num dia,
- N_{DAut} é o número de dias de autonomia,
- V_{n_s} é a tensão do sistema,
- P_{DMAX} é a profundidade máxima de descarga,
- η_{bat} é o rendimento da bateria.

Número de baterias em série:

O número de baterias em série é:

$$\text{Eq. (43)} \quad N_{bs} = \frac{V_{sist}}{V_{bat}} [s/un]$$

Onde:

- N_{bs} é o número de baterias em série,
- V_{sist} é o nível de tensão do sistema,
- V_{bat} é a tensão da bateria.

Número de baterias em paralelo:

O número de baterias em paralelo será:

$$\text{Eq. (44)} \quad N_{bp} = \frac{C_{bat_min}}{C_{bat}} [s/un]$$

Onde:

- N_{bp} é o número de baterias em paralelo,
- C_{bat_min} é a capacidade mínima das baterias,
- C_{bat} é a capacidade da bateria escolhida.

Número total de baterias:

O número total de baterias será:

$$\text{Eq. (45)} \quad N_{tot_bat} = N_{bs} \cdot N_{bp} [s/un]$$

Onde:

- N_{tot_bat} é o número total de baterias,
- N_{bs} é o número de baterias em série,
- N_{bp} é o número de baterias em paralelo.

Número de inversores:

O número de inversores vai ser definido conforme o consumo e se a alimentação é AC ou DC. A quantidade é o somatório das potências instantâneas afectadas do factor de simultaneidade.

$$\text{Eq. (46)} \quad N_{inv} = \frac{\sum Qtd_{EQ} \cdot P_{EQ} \cdot Fs_{EQ}}{P_{inv}} [s/un]$$

Onde:

- N_{inv} é o número de inversores,
- Qtd_{EQ} é a quantidade de equipamentos iguais,
- P_{EQ} é a potência por equipamento,
- Fs_{EQ} é o factor de simultaneidade ou de utilização do mesmo grupo de equipamentos,
- P_{inv} é a potência de saída do inversor.

Potência instalada:

Este campo informa qual a potência pico instalada a nível de painéis solares. O valor é obtido com a seguinte equação:

$$\text{Eq. (47)} \quad P_{inst} = N_{tot_p} \cdot P_{painel} [kWp]$$

Onde:

- P_{inst} é a potência instalada em painéis solares. Valor é dado em kWp,
- N_{tot_p} é o número total de painéis,
- P_{painel} é a potência em kWp fornecida pelo fabricante.

Custo da instalação:

O custo da instalação é o somatório do custo de todos os componentes escolhidos afectados das suas quantidades. A equação é a seguinte:

$$Eq. (48) \quad C_{inst} = N_{tot_p} \cdot C_{painel} + N_{tot_b} \cdot C_{baterias} + N_{tot_r} \cdot C_{reg} + N_{tot_inv} \cdot C_{inv} \text{ [€]}$$

Onde:

- C_{inst} é o custo da instalação em Euros [€],
- N_{tot_p} é o número total de painéis,
- C_{painel} é o custo do painel por cada unidade,
- N_{tot_b} é o número total de baterias,
- $C_{baterias}$ é o custo de uma bateria,
- N_{tot_r} é o número total de reguladores de carga,
- C_{reg} é o custo de um regulador de carga,
- N_{tot_inv} é o número total de inversores,
- C_{inv} é o custo de um inversor.

Assim se completa a parte do dimensionamento e das quantidades para este sistema.

Estudo económico:

A próxima opção é verificar a viabilidade do projecto. Como sabemos, os sistemas isolados dificilmente são rentáveis num curto espaço de tempo. O maior trunfo deste tipo de sistema é a aplicabilidade em zonas remotas e fora das zonas abrangidas pela rede eléctrica.

No caso de ser necessária a construção de um Posto de Transformação ou a instalação de longos cabos, esta solução pode ser a ideal. O processo de rentabilização da instalação passa mais pela poupança em materiais de construção do que propriamente pela poupança no consumo de energia, já que o kWh de custo (0,10€) é relativamente baixo quando comparado com o custo de instalação de um kWp (12000€).

Os campos a preencher para se efectuar o estudo económico são:

Custo da instalação:

Este campo será preenchido automaticamente quando for realizado o dimensionamento.

Outro investimento:

Neste local deve ser contabilizado todo um conjunto de equipamento que não está abrangido pelo custo da instalação (estrutura para painéis solares, banco de baterias, condutores, sistemas de protecção e medida e mão de obra).

Investimento total:

É a soma do custo da instalação e de outros investimentos.

Manutenção anual:

É um valor anual estimado associado a limpezas dos painéis, eventualmente à substituição de algum componente, etc.

Quanto mais elevado for este valor, mais difícil vai ser atingirmos a rentabilização da instalação.

Custo da energia consumida:

Valor do kWh praticado segundo um tarifário.

Investidor (IRS/IRC)

Neste campo é onde reside a maior diferença a nível do tempo esperado de retorno.

As empresas que invistam em equipamento solar podem amortizar o respectivo investimento no período de quatro anos, visto ser de 25% o valor máximo da taxa de reintegração e amortização aplicável (Dec. Reg. N.º 22/99, de 6 de Outubro). Trata-se de uma importante medida, por permitir a amortização dos sistemas solares em quatro anos, independentemente de outros incentivos.

Nota 1: O Decreto Regulamentar n.º 22/99 de 6 de Outubro altera a taxa de amortização dos equipamentos de energia solar prevista na Tabela II, divisão I, Grupo 3, anexa ao Decreto Regulamentar n.º 2/90 de 12 de Dezembro, que passa a ter a seguinte redacção:

"Máquinas, aparelhos e ferramentas: 2250 - Equipamento de energia solar - 25"

Nota 2: O Decreto Regulamentar n.º 2/90 de 12 de Janeiro, estabelece o regime das reintegrações e amortizações para efeitos do imposto sobre o Rendimento de Pessoas Colectivas - IRC.

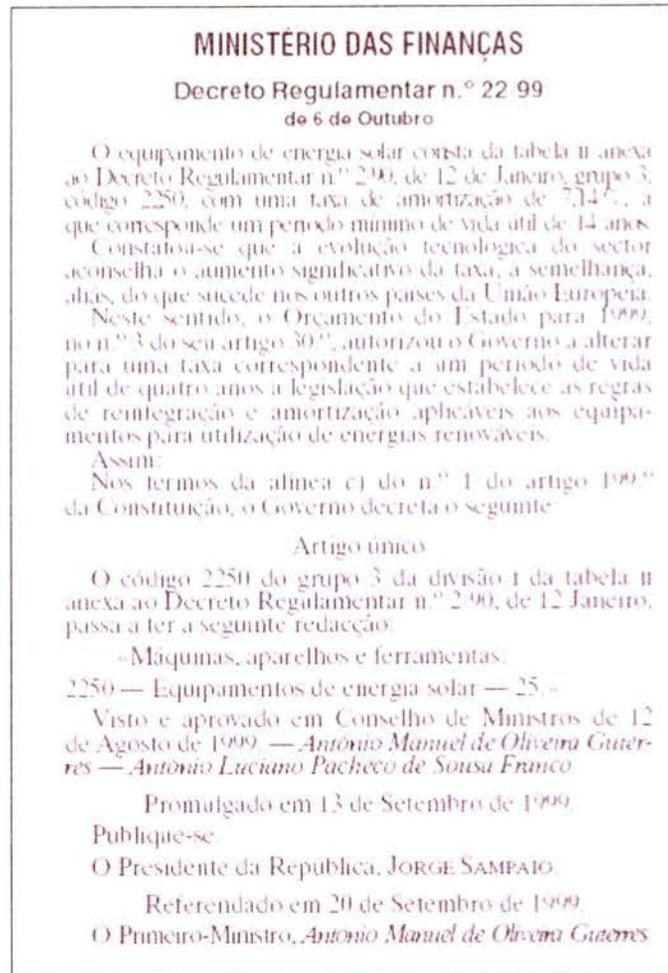


Fig. (30) – Decreto Regulamentar n.º 22/99 de 6 de Outubro

Note-se que este valor deve ser adaptado a cada empresa. Como o máximo a amortizar é de 25%, é necessário que o valor a pagar de IRC pela empresa supere os 25% do custo da instalação. No caso de não superar deve-se escrever a percentagem que o IRC da empresa representa no custo da instalação.

Enquanto que os particulares podem deduzir no IRS, apenas no ano do investimento até ao máximo de 728€, como se verifica no número 2 do artigo 85.º da Lei n.º 55-B/2004, de 30 de Dezembro.

Artigo 85.º

Encargos com imóveis e equipamentos novos de energias renováveis

1 — São dedutíveis à colecta 30 % dos encargos a seguir mencionados relacionados com imóveis situados em território português:

- a) Juros e amortizações de dívidas contraídas com a aquisição, construção ou beneficiação de imóveis para habitação própria e permanente ou arrendamento devidamente comprovado para habitação permanente do arrendatário, com excepção das amortizações efectuadas por mobilização dos saldos das contas poupança-habitação, até ao limite de € 549;
- b) Prestações devidas em resultado de contratos celebrados com cooperativas de habitação ou no âmbito do regime de compras em grupo, para a aquisição de imóveis destinados a habitação própria e permanente ou arrendamento para habitação permanente do arrendatário, devidamente comprovadas, na parte que respeitem a juros e amortizações das correspondentes dívidas, até ao limite de € 549;
- c) Importâncias, liquidadas de subsídios ou participações oficiais, suportadas a título de renda pelo arrendatário de prédio urbano ou da sua fracção autónoma para fins de habitação permanente, quando referentes a contratos de arrendamento celebrados a coberto do Regime do Arrendamento Urbano, aprovado pelo Decreto-Lei n.º 321-B/90, de 15 de Outubro, ou pagas a título de rendas por contrato de locação financeira relativo a imóveis para habitação própria e permanente efectuadas ao abrigo deste regime, na parte em que não constituem amortização de capital, até ao limite de € 549.

2 — São igualmente dedutíveis à colecta, desde que não susceptíveis de serem considerados custos na categoria B, 30 % das importâncias despendidas com a aquisição de equipamentos novos para utilização de energias renováveis e de equipamentos para a produção de energia eléctrica e ou térmica (co-geração) por microturbinas, com potência até 100 kW, que consumam gás natural, incluindo equipamentos complementares indispensáveis ao seu funcionamento, com o limite de € 728.

3 — As deduções referidas nos números anteriores não são cumulativas.

- 4 —
- 5 —

Fig. (31) - Lei 55-B/2004 de 30 de Dezembro

Taxa de Inflação:

Esta taxa vai afectar o custo da energia e o valor da manutenção ao longo dos anos.

Anos para recuperar o investimento:

O número de anos para recuperar o investimento, vai ser quando se atingir a igualdade da poupança de não consumir energia da rede pública e o custo da instalação. Ao custo da instalação vai sendo acrescentada o custo da manutenção afectada da taxa de inflação.

Na poupança é adicionado no caso de particulares os 728€ e no caso das empresas a percentagem equivalente ao IRC.

8.4 Tipo de sistema: Ligado à rede

8.4.1 Definição dos painéis solares

No caso de sistemas ligados à rede, a primeira escolha a fazer é o tipo de painel solar que queremos instalar. O processo é em tudo igual aos dos sistemas isolados. De igual modo a base de dados conta com as mesmas funcionalidades.

8.4.2 Definição do inversor

Existem inversores no mercado dedicados para este tipo de instalações. A base de dados do FVSOL@R conta com um parâmetro que distingue os diferentes tipos de inversores. É comum neste tipo de inversores as tensões de entrada serem elevadas, na ordem dos 400V.

8.4.3 Dimensionamento e estudo económico do sistema ligado à rede

Neste menu irão ser definidas algumas das questões técnicas de uma instalação fotovoltaica.

Apenas será definido o número de painéis ou a potência a instalar e o nível de tensão.

Número de painéis:

O utilizador determina o número de painéis que deseja instalar. Este campo é importante nos casos de áreas confinadas e quando sabemos ao certo quantos painéis irão ser instalados.

Uma questão importante é que nem sempre a configuração do sistema permite um número certo de painéis. Iremos ver mais à frente que o nível de tensão vai ter influência na quantidade de painéis a instalar.

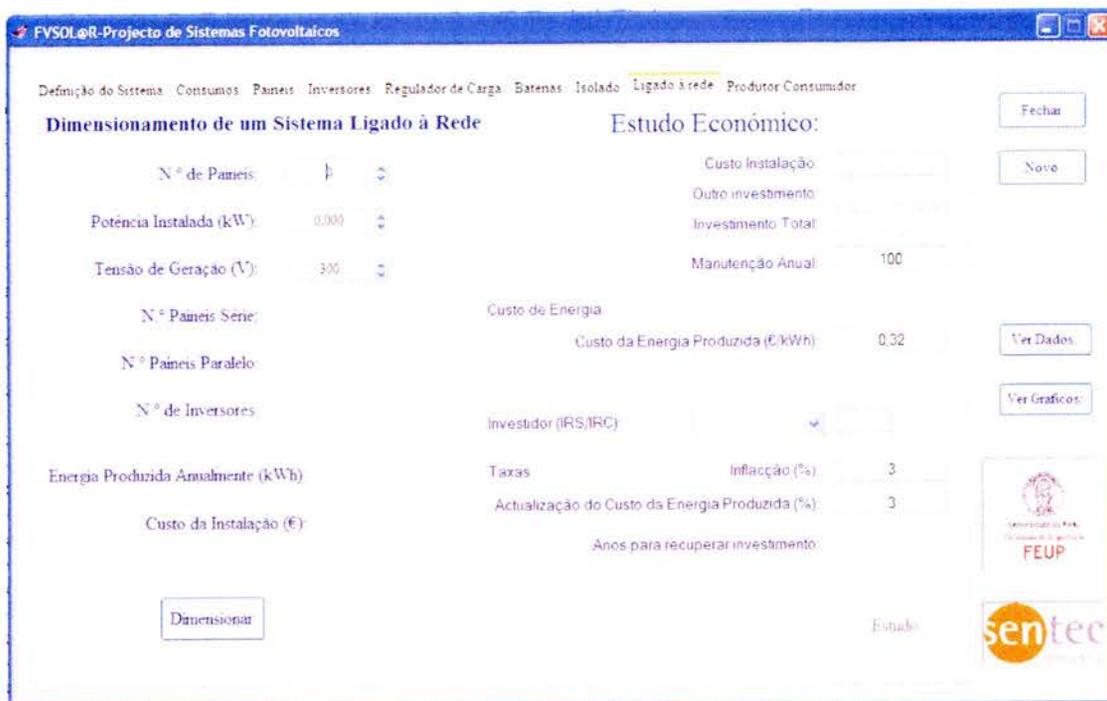


Fig. (32) – Dimensionamento final do sistema e estudo económico

Potência a instalar:

No caso de inserirmos um valor no campo anterior, este será automaticamente actualizado para a potência equivalente ao número de painéis. Quando alteramos a potência instalada, iremos indirectamente definir a quantidade de painéis a instalar.

Tensão do sistema:

Neste campo, iremos definir indirectamente a quantidade de painéis que a instalação vai ter em série. Este valor irá ser arredondado para um múltiplo da tensão à potência máxima do painel.

Número de painéis em série:

A quantidade de painéis em série vai ser definida segundo a equação:

$$\text{Eq. (49)} \quad N_{ps} = \frac{V_g}{V_{p_pn}} [s/un];$$

Onde:

- N_{ps} é o número de painéis em série,
- V_g é o nível de tensão pretendido para a entrada do inversor,
- V_{p_pn} é a tensão no painel solar à potência máxima.

Note-se que internamente o FVSOL@R vai calcular uma quantidade inteira.

Número de painéis em paralelo:

É calculado segundo a seguinte equação:

$$\text{Eq. (50)} \quad N_{pp} = \frac{N_{\text{painéis}}}{N_{ps}} [s/un];$$

Onde:

- N_{pp} é o número de painéis em paralelo,
- $N_{\text{painéis}}$ é a quantidade de painéis pretendida,
- N_{ps} é o número de painéis em série.

Número de inversores:

Depende apenas da potência máxima que o inversor é capaz de ter à entrada ou da corrente de curto-circuito especificada.

Existem alguns inversores que têm várias entradas para diferentes séries de painéis, mas no entanto a potência máxima especificada é global e não independente.

Determina-se a quantidade de inversores do seguinte modo:

$$\text{Eq. (51)} \quad N_{inv} = \frac{P_{inst}}{P_{inv}} [s/un];$$

Onde:

- N_{inv} é o número de inversores,
- P_{inst} é a potência instalada
- P_{inv} é a potência máxima do inversor à entrada

Note-se que é imperativo a coerência das unidades.

Energia produzida anualmente:

Neste campo, o FVSOL@R calcula a energia produzida por cada painel para cada hora do dia. Depois é multiplicado pelo número de painéis presentes na instalação.

Como o rendimento dos inversores não é ideal, o total da energia produzida é multiplicado pelo próprio rendimento do Inversor, assim com está descrito mais atrás.

Custo da instalação:

O custo da instalação é a contabilização dos componentes escolhidos. A equação é a seguinte:

$$\text{Eq. (52)} \quad C_{inst} = N_{tot_p} \cdot C_{painel} + N_{tot_inv} \cdot C_{inv} [\text{€}]$$

Onde:

- C_{inst} é o custo da instalação em Euros [€],
- N_{tot_p} é o número total de painéis,
- C_{painel} é o custo do painel por cada unidade,
- N_{tot_inv} é o número total de inversores,
- C_{inv} é o custo de um inversor.

Estudo económico:

Neste menu iremos verificar a viabilidade e rentabilidade da instalação.

Ao contrário dos sistemas isolados, estas instalações só serão edificadas em zonas remotas quando a necessidade de espaço amplo é um requisito. O facto da instalação ser realizada em zonas afastadas e longe da rede eléctrica é uma desvantagem para o investimento, pois vai exigir um esforço financeiro superior no que toca a construção de infra-estruturas extras, grandes extensões de cabos e eventualmente criação de postos de transformação, corte e seccionamento.

No caso destas instalações não necessitarem de uma interligação especial com a rede, o custo da instalação é menor e com a vantagem de globalmente termos uma potência instalada significativa mas distribuída pela rede, o que eleva a qualidade da mesma (tensão e factor de potência).

Custo da instalação:

Idêntico para sistemas isolados

Outros Investimentos:

Idêntico para sistemas isolados

Investimento total:

Idêntico para sistemas isolados

Manutenção anual:

Idêntico para sistemas isolados

Custo da energia produzida:

Neste campo aplica-se o que está regulamentado no Decreto-Lei n.º 33-A/2005 de 16 de Fevereiro.

Este valor a aplicar varia conforme a hora a que a energia é injectada na rede, por isso oscila e só no final do mês, na factura é que vem o valor certo. Os valores a adoptar é de 0,32€ para potências instaladas acima dos 5kW e 0,44€ para instalações inferiores a 5kW.

Investidor (IRS/IRC):

Idêntico para sistemas isolados

Inflação:

Idêntico para sistemas isolados

Actualização do preço da energia produzida

Taxa de crescimento a que a energia produzida fica sujeita ao decorrer dos anos.

Anos para recuperar o investimento:

O número de anos para recuperar o investimento, serão os necessários para que a energia vendida ao longo do tempo, acrescido do retorno do IRC/IRS (nas mesmas condições dos sistemas isolados) seja igual ao custo inicial da instalação acrescido da manutenção anual.

$$\text{Eq. (53)} \quad C_{inst} + \sum_n C_{man} \cdot inf^n = \sum_{n=0}^3 IRC + \sum_n E_{ano} \cdot C_{energ} \cdot act^n$$

Onde:

- n é o ano,
- C_{inst} é o custo da instalação,
- C_{man} é o custo estimado da manutenção anual,
- inf é a taxa de inflação,
- E_{ano} é a energia produzida num ano em kWh,
- C_{energ} é o preço da energia paga pela EDP,
- act é a taxa de actualização do preço da energia produzida.

8.5 Tipo de sistema: Produtor/Consumidor

8.5.1 Dimensionamento e estudo económico do sistema produtor/consumidor

Neste regime, as condições de dimensionamento são exactamente similares ao regime de venda exclusiva à rede. A diferença reside na potência máxima que podemos instalar e na quantidade vendida à rede. Este regime rege-se pelo Decreto-Lei 68/2002 de 25 de Março e tem como base a produção de energia eléctrica com um auto consumo de pelo menos 50%. Este sistema possui uma tarifa inferior ao regime de venda exclusiva (cerca de 0,29€) mas como poupamos na factura da própria instalação pode até ser superior o preço do kWh.

Uma instalação neste regime não pode entregar à rede uma potência superior a 150kW, significando isto que poderemos ter no máximo uma instalação de 300kW.

FVSOL@R - Projecto de Sistemas Fotovoltaicos

Definição do Sistema Consumos Painéis Inversores Regulador de Carga Baterias Isolado Ligado a rede **Produtor/Consumidor**

Dimensionamento de um Sistema Produtor/Consumidor

N.º de Painéis: 0
 Potência Instalada (kW): 0,000
 Tensão de Geração (V): 100
 N.º Painéis Série:
 N.º Painéis Paralelo:
 N.º de Inversores:
 Energia Produzida Anualmente (kWh):
 Custo da Instalação (€):

Estudo Económico:

Custo Instalação:
 Outro investimento:
 Investimento Total:
 Manutenção Anual: 100
 Custo de Energia:
 Custo da Energia Consumida (€/kWh): 0,098
 Custo da Energia Produzida (€/kWh): 0,29
 Investidor (IRS, IRC):
 Taxas:
 Actualização do Custo da Energia Produzida (%): 3
 Inflação (%): 3
 Anos para recuperar investimento:

Consumos e Despesa da Instalação.

	Janero	Febrero	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Consumos (kWh)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Despesa (€)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

FEUP
sentece

Fig. (33) - Dimensionamento final do sistema e estudo económico

Consumos e despesas da instalação:

Nesta secção inserem-se os consumos da instalação e despesas mensais. No caso de não se ter acesso a uma factura, deverá ser feita uma estimativa o mais próximo possível dos consumos da instalação.

Anos para recuperar o investimento

O número de anos para recuperar o investimento, vão ser os necessários para que a energia vendida (metade da produzida) ao longo do tempo, acrescido do retorno do IRC/IRS (nas mesmas condições dos sistemas isolados) e acrescido ainda na poupança do consumo de metade da energia produzida seja igual ao custo inicial da instalação acrescido da manutenção anual.

$$\begin{aligned}
 \text{Eq. (54)} \quad C_{inst} + \sum_n C_{man} \cdot inf^n &= \sum_{n=0}^3 IRC + \sum_n \frac{E_{ano}}{2} \cdot C_{energ_v} \cdot act^n + \\
 &+ \sum_n [Cons_ant - Cons_novo] C_{energ_c} \cdot inf^n
 \end{aligned}$$

Onde:

- n é o ano,
- C_{inst} é o custo da instalação,
- C_{man} é o custo estimado de manutenção anual,
- inf é a taxa de inflação,
- E_{ano} é a energia produzida num ano em kWh,
- C_{energ_c} é o preço da energia paga à EDP,
- C_{energ_v} é o preço da energia vendida à EDP,
- act é a taxa de actualização do preço da energia produzida,
- $Cons_ant$ é o consumo antes da instalação,
- $Cons_novo$ é o consumo actual após a instalação.

Seguidamente é apresentado um exemplar do formulário de controlo da energia entregue à rede.

Decreto-Lei nº 68/2002 - Portaria 764/2002

Produtor:

Ano da Energia

Mês da Energia

ENERGIA ACTIVA

	Registada	Facturada	Tarifa BTE medias utiliz.	Valor euros
Activa Sup.Vazio Wsv	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Activa Vazio Wv	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Activa Ponta Wp	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Activa Cheias Wc	<input type="text"/>	<input type="text"/> kWh	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Activa total	<input type="text"/>	EECm <input type="text"/>		VRD(BTE) <input type="text"/>

POTÊNCIA

Ciclo de facturação

Preço unitario: euros

Nº horas de ponta

Potência kW

Valor (euros):

PARÁMETROS

Limite de facturação no ano kWh

Facturação acumulada no mês anterior kWh

Facturação acumulada no mês kWh

Processo: Ano Mês

Ligação: Ano Mês

N.º meses decorridos: (n.º 3 Portaria n.º 764/2002)

Ct: Publicado 1/2 do publicado: Aplicavel

IPC dez: IPCref: IPCdez / IPCref:

TOTAL DA FACTURA

$$VRDm = VRD(BTE) \cdot m + Ct \cdot EECm \cdot IPCdez : IPCdez2001 + P^* \cdot TarifaPotência$$

Remuneração Mensal (VRDm)

IVA (5%)

Valor total conferido

Fig. (34) – Modelo de facturação de uma instalação ao abrigo do Decreto-Lei 68/2002

9 Comparação de informação gerada:

Comparemos agora a informação gerada pelo FVSOL@R e o site <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solradframe.php?en&europe> para o Porto.

Os dados de radiação no solo é inserido no FVSOL@R. O aspecto após a sua inserção é o seguinte:

FVSOL@R - Projecto de Sistemas Fotovoltaicos

Definição do Sistema | Consumos | Painéis | Inversores | Regulador de Carga | Estenas | Isolado | Ligado a rede | Produtor/Consumidor

Tipo de Sistema: [Dropdown]

Localização: Porto

	Radiação Média Diária (Wh/m ²) por Mês	Temperatura Média Diária (°C) por Mês
Janeiro	1925	8,7
Fevereiro	2551	10,7
Março	4117	13,2
Abril	4883	13,5
Mai	6009	15,8
Junho	6811	18,8
Júlio	6644	20,3
Agosto	6248	20,8
Setembro	4750	18,9
Outubro	3245	16,3
Novembro	2032	12,3
Dezembro	1540	10,2

Características relativas ao local:

Latitude (°): 41 Longitude (°): -8
 Longitude do meridiano de origem (°): 0
 Reflectividade do solo: 0,2

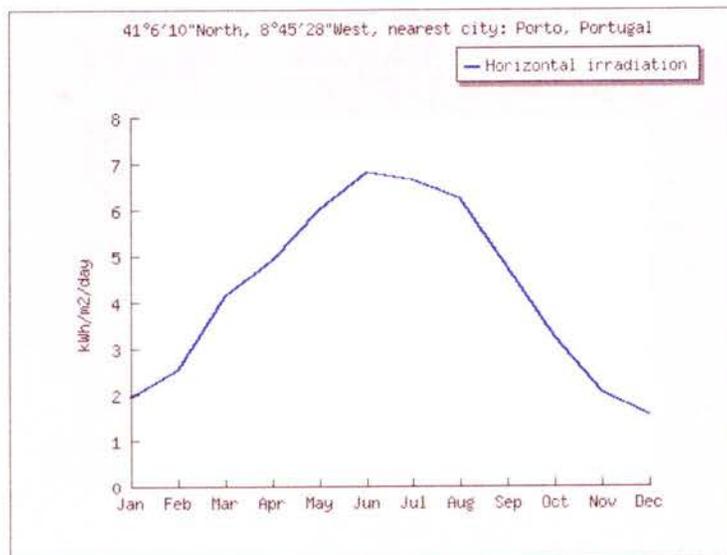
Instalação dos Painéis:

Inclinação (°): 30 Azimut (°): 0

Site para actualizar dados:
<http://eosweb.larc.nasa.gov/sse/PETScreen>
<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/solradframe.php?en&europe>

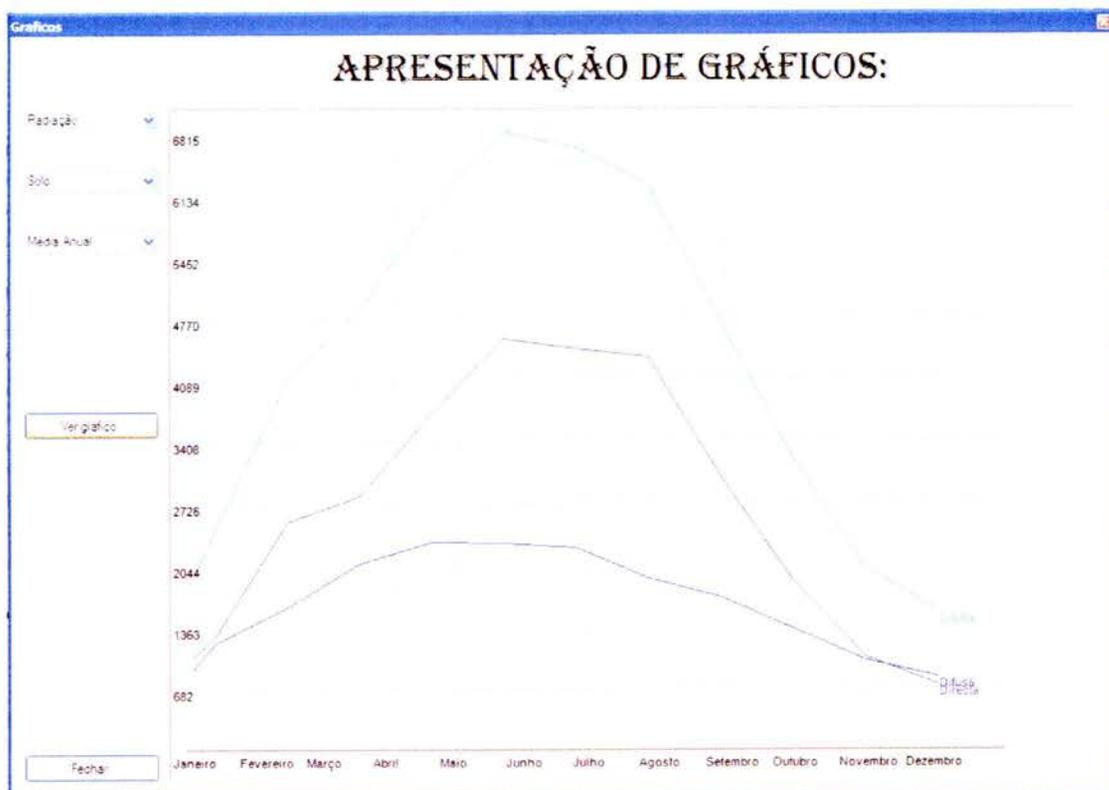
Fig. (35) – Dados inseridos no FVSOL@R

No site a informação por nós solicitada resulta na seguinte curva para a radiação global no solo (superfície horizontal):



Graf. (1) – Gráfico gerado pelo PV - GIS

Após calcular o sistema, os gráficos fornecidos pelo FVSOL@R são:



Graf. (2) - Gráfico gerado pelo FVSOL@R

Verificamos que o FVSOL@R neste caso segue o gráfico do PV - GIS e acrescenta ainda as duas componentes da radiação (directa e difusa).

Comparemos agora a produção da instalação com parâmetros iguais (30° de inclinação e 10,92kWp).

Month	Production per month (kWh/month)	Production per day (kWh/day)
Jan	948	31
Feb	970	35
Mar	1565	50
Apr	1547	52
May	1807	58
Jun	1902	63
Jul	1959	63
Aug	2000	65
Sep	1671	56
Oct	1346	43
Nov	914	30
Dec	756	24
Year	1446	48
Total yearly production (kWh)		17358

Tab. (2) - Tabela com os valores de energia produzida (PV - GIS)

Dados fornecidos pelo o FVSOL@R:

FVSOL@R-Projecto de Sistemas Fotovoltaicos

Definição do Sistema Consumos Painéis Inversores Regulador de Carga Baterias Isolado **Ligado a rede** Produtor Consumidor

Dimensionamento de um Sistema Ligado à Rede

N.º de Painéis: 84
 Potência Instalada (kW): 10,520
 Tensão de Geração (V): 370
 N.º Painéis Série: 21
 N.º Painéis Paralelo: 4
 N.º de Inversores: 4
 Energia Produzida Anualmente (kWh): 17 565,43
 Custo da Instalação (€): 57 796

Estudo Económico:

Custo instalação: 57 796
 Outro investimento:
 Investimento Total: 57 796
 Manutenção Anual: 100
 Custo de Energia
 Custo da Energia Produzida (€/kWh): 0,32
 Investidor (IRS/IRC): Empresa 4 %
 Taxas: Inflação (%): 3
 Actualização do Custo da Energia Produzida (%): 3
 Anos para recuperar investimento: 14 Anos e 4 Meses

Buttons: Fechar, Novo, Ver Dados, Ver Graficos, Dimensionar, Estudo

Fig. (38) – Janela com os valores de energia produzida anualmente (FVSOL@R)

Dados

APRESENTAÇÃO

Energia Produzida: Anual

Mês	Energia (MWh)
01	989639,95
02	1021064,97
03	1609111,35
04	1602178,54
05	1894461,32
06	1899419,59
07	1909398,93
08	1955917,97
09	1651087,13
10	1361834,04
11	944825,83
12	785792,69

Ver

Fig. (39) – Janela com os valores de energia produzida mensalmente (FVSOL@R)

Com a ajuda de uma folha de cálculo comparemos as diferenças dos dois programas:

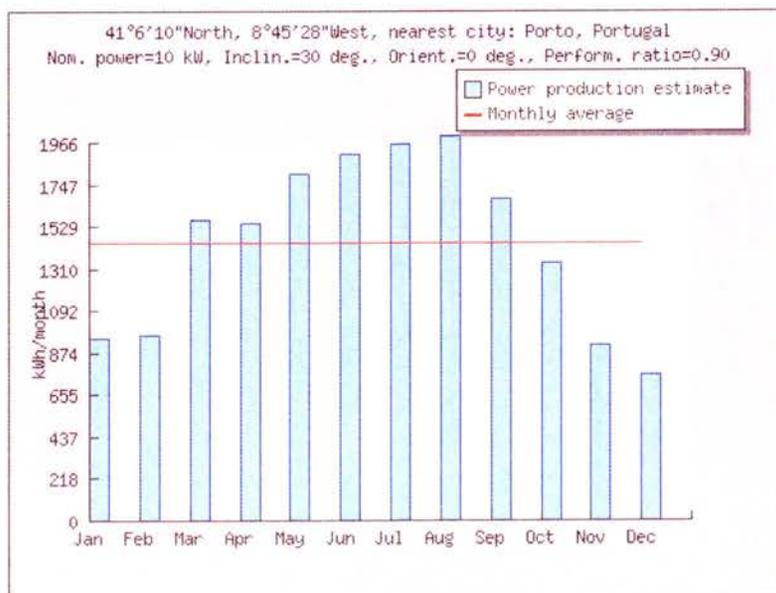
Mês	Energia kWh		
	FVSOL@R	PG-SIS	Δ
1	983,64	948,00	35,64
2	1021,06	970,00	51,06
3	1609,11	1565,00	44,11
4	1602,18	1547,00	55,18
5	1834,46	1807,00	27,46
6	1889,42	1902,00	-12,58
7	1929,40	1959,00	-29,60
8	1955,92	2000,00	-44,08
9	1651,09	1671,00	-19,91
10	1361,53	1346,00	15,53
11	944,83	914,00	30,83
12	785,79	756,00	29,79
Total	17568,43	17385,00	183,43

Tab. (3) – Tabela com os valores de energia produzida e a diferença das previsões

Dividindo a diferença de energia produzida anualmente por 365 temos um desvio de 0,5 kWh por dia, o que a níveis percentuais dá:

$$Eq. (55) \quad \text{Desvio}(\%) = \frac{0,5kWh}{10,92kW \times 4,6h} \times 100\% = 1,0\%$$

Onde 4,6h é o número médio diário de horas de Sol.



Graf. (3) – Gráfico da produção anual (PV-GIS)



Graf. (4) – Gráfico da produção anual (FVSOL@R)

Apesar de ser um exemplo apenas, verifica-se que o FVSOL@R é fiável com um erro pouco significativo quando comparado com um programa desenvolvido por especialistas.

10 Trabalho realizado ao longo do estágio na sentec – engenharia, Lda.

Fazendo inicialmente parte do conteúdo previsto deste estágio o projecto, licenciamento, gestão de obra, monitorização via Internet da produção e estudo económico de uma instalação fotovoltaica, tal não se veio a realizar devido ao preço desta tecnologia ser quase que proibitivo.

De qualquer modo, durante a minha passagem pela sentec, tive oportunidade de criar alguns projectos preliminares tendo em vista a orçamentação para apresentar aos clientes.

Seguidamente serão apresentados alguns dos mais relevantes orçamentos previsionais realizados, alguns dos quais bastante interessantes.

10.1 Instalação fotovoltaica para uma vivenda

É um sistema fotovoltaico/eólico com um grupo diesel com arranque eléctrico. Esta instalação possui a propriedade de ser versátil ao ponto de mesmo nas alturas mais críticas (Inverno) nunca ser necessário deslastrar cargas. O inversor dispõe de um contacto auxiliar que dá uma ordem de arranque ao grupo diesel assim que as baterias desçam abaixo de uma capacidade programável. Assim que o grupo gerador entre em funcionamento, a energia gerada não consumida pelas cargas irá recarregar as baterias.

Pos.	Designação	Unidade	Quant.	Preço
1				
1.1	Módulo solar 125 Wp	un	24	
1.2	Regulador Steca PowerTaron 2140	un	1	
1.3	Inversor Steca C 2600-24V	un	2	
1.4	Bateria 12V, Deta Solar 250Ah	un	10	
1.5	Gerador Eólico XL.1 – 1kW	un	1	
1.6	Estrutura para os painéis solares	un	1	
1.7	Torre Para Aerogerador com 12mt	un	1	
1.8	Cabine de Controlo e Comando	un	1	
1.9	Condutores e Material diverso	un	1	
1.10	Aparelhagem de Comando	un	1	
1.11	Vara de Cobre (1,5m) + Braçadeira	un	3	
1.12	Barramento	un	4	
1.13	Fundações, ferro, cimento	un	1	
1.14	Gerador Diesel 5,6kVA Arranque Eléctrico	un	1	
				50.629,31

Tab. (4) – Lista de equipamentos e custo global

Este foi um dos primeiros orçamentos a ser realizado. Ainda o FVSOL@R estava em fase de análise, pelo que me socorri de uma folha de cálculo.

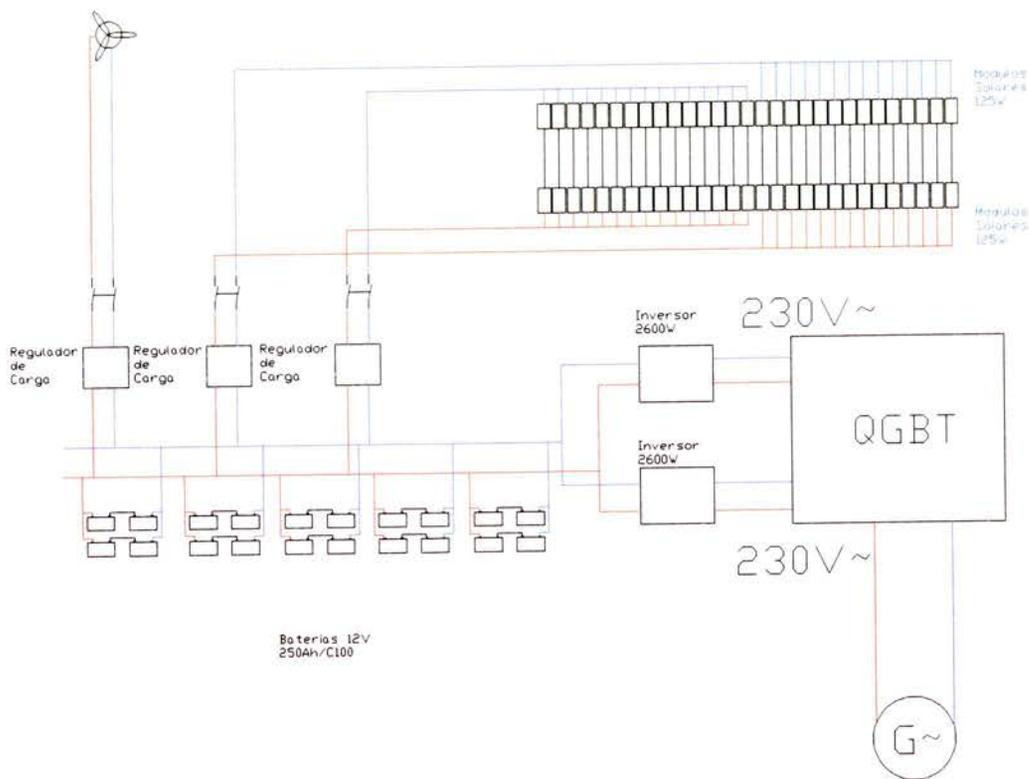


Fig. (41) – Esquema de ligações da instalação.

Note-se que devido ao não conhecimento de distâncias não foi possível dimensionar ao certo condutores e protecções (em termos de orçamento não é significativo).

10.2 Instalação fotovoltaica em regime produtor/consumidor na cobertura de uma estação de serviços

Este orçamento previsional contemplava uma instalação fotovoltaica com interligação à rede pública ao abrigo do regime produtor/consumidor. A potência a instalar deveria ser a máxima de modo a ocupar toda a cobertura.

Chegou-se à conclusão que para evitar sombreamento quando a elevação solar fosse baixa no Inverno, o número de painéis a instalar seria de 100. A potência instalada seria então de 12,5kWp.

Optou-se por se usar quatro inversores de modo a aumentar a fiabilidade do sistema, para que no caso de falha ou avaria, não fique toda a instalação fora de serviço.

Sistema FV produtor/consumidor – 12,5kWp

Auto de medição previsional / orçamento

Pos.	Designação	Unidade	Quant.	Preço
1	Sistema FV produtor/consumidor – 12,5kWp			
1.1	Módulo solar 125 Wp	un	100	
1.2	Inversor Solarmax 3000C	un	4	
1.3	Estrutura para os painéis solares	vg	1	
1.4	Aparelhagem de Comando	un	1	
1.5	Vara de Cobre (1,5m) + Braçadeira	un	3	
1.6	Condutores, calhas e material diverso	vg	1	
1.7	Trabalhos de Instalação	vg	1	
				82.542,89

Tab. (5) – Listagem de equipamentos e preço global

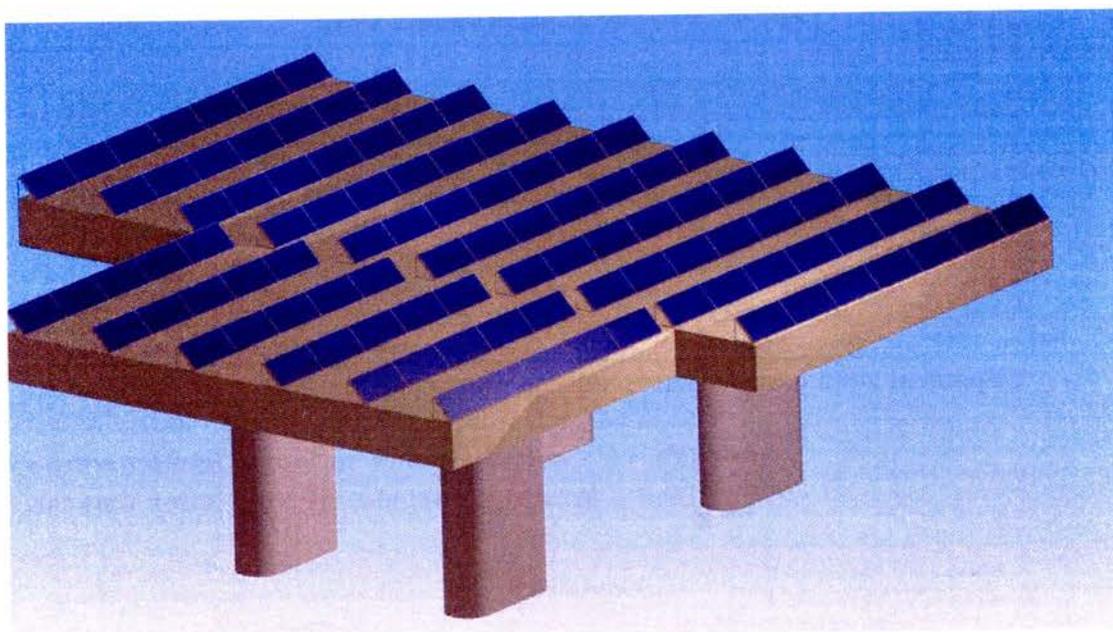


Fig. (42) – Modelo tridimensional exemplificativo da instalação final

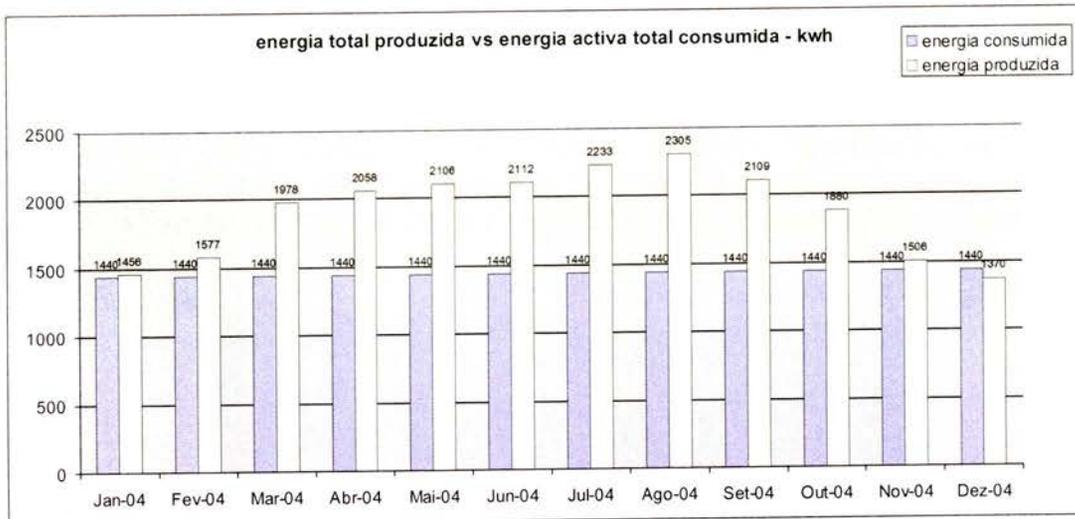
A informação por nós apresentada foi a seguinte, uma vez que não possuíamos dados relativos a consumos.

Potência a instalar – 12,5kWp

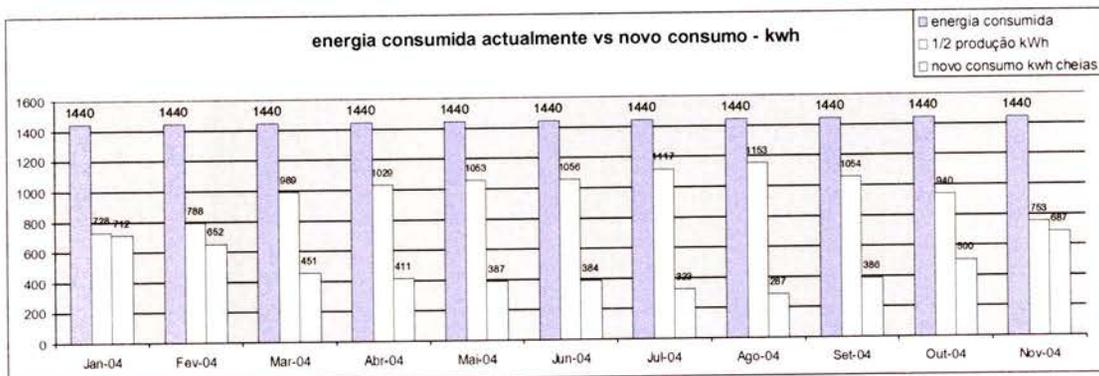
Área a ocupar – 276,25 m²

Investimento estimado – 82.542,89 €

Custos Anuais com Manutenção Preventiva e Exploração – 1200€

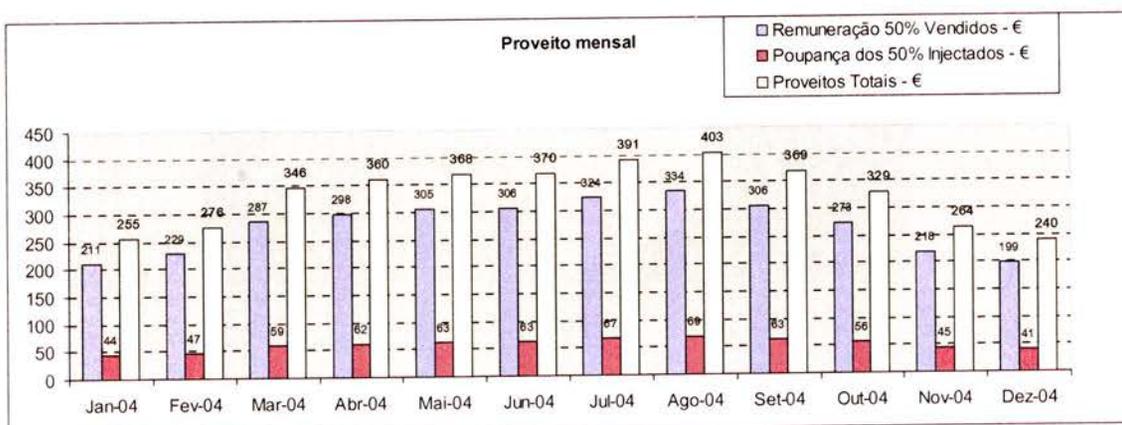


Graf. (5) - Energia produzida/Energia consumida



Graf. (6) - Energia consumida actualmente/Consumo após instalação

Consumo anual actual de energia activa - 17.280 kWh
Consumo anual após instalação da central - 5.935 kWh



Graf. (7) - Proveito mensal

Remuneração Anual Estimada Venda - 32.289,95€
Poupança Anual com injeccção de 50% - 680 €
Beneficio total anual - 3.970,60 €

10.3 Instalações fotovoltaicas em torres de telecomunicações

Foi ainda apresentado a duas das operadoras de telecomunicações uma configuração para produção de energia eléctrica igualmente em regime produtor/consumidor. Esta apresentação encontra-se ainda em fase de estudo no que se refere a esforços mecânicos a que a torre irá ficar sujeita. O modelo é o seguinte:

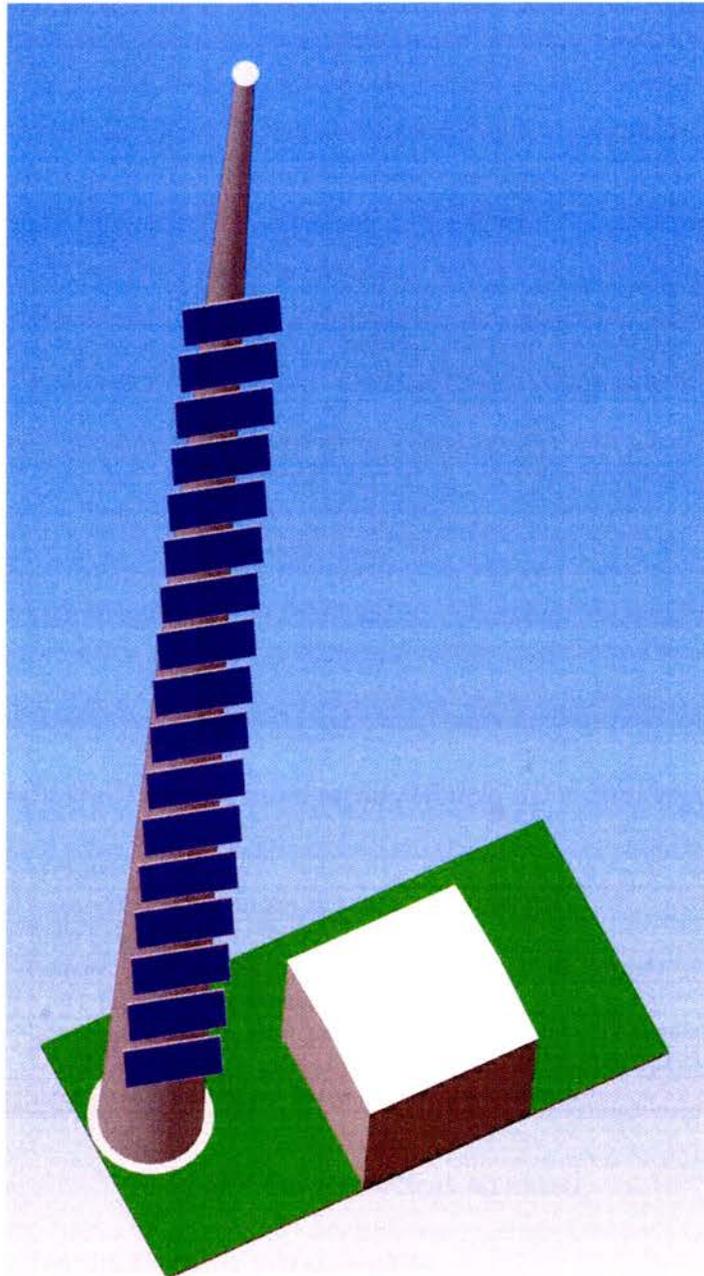


Fig. (43) - Modelo tridimensional de uma instalação em estudo

10.4 Poste de iluminação pública

Este projecto, apesar de ser relativamente simples, foi o único que teve seguimento. Começou num modelo tridimensional e actualmente já está instalado e a funcionar.



Fig. (44/45) – Poste de iluminação (Modelo 3D e implementado)

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

Módulo solar	1 Kyocera KC 40 de 40 Wp ou 1 KC 80-02 de 80 Wp
Bateria	Tudor Enersol EN 120-12 de 120 Ah
Armadura	Totalmente em alumínio com acrílico de protecção da lâmpada
Lâmpada (s)	1 ou 2 fluorescentes compacta de 7 ou 11 W
Armário	Totalmente metálico, estanque à água, compartimentado e ventilado
Poste	Tubo de aço soldado e galvanizado a quente ou metalizado e pintado
Altura total	Standard: 4,0 metros, por encomenda de 3 a 6 metros

Tab. (6) – Características técnicas)

10.5 Outros orçamentos provisionais:

Faz ainda parte da lista de orçamentos provisionais:

- Instalação fotovoltaica para um reservatório de água isolado (10kWp)
- Instalação fotovoltaica para uma auto – caravana
- Iluminação de um recinto (20 candeeiros solares)

- Iluminação de uma avenida recorrendo a uma central fotovoltaica (300kWp)
- Instalações para habitações (Soluções FV+Eólica+Grupo Diesel+Paralelo com a rede)
- Fachada de um edifício em *glass-glass* (pioneiro em Portugal)
- Estações meteorológicas e de qualidade da água isoladas alimentadas a painéis solares e baterias
- Etc.

Conclusões:

Chegado ao término deste processo de estágio desenvolvido ao longo de 5 meses e após alguns orçamentos e projectos desenvolvidos, verificamos que ainda existe um longo caminho a percorrer para que a situação do número de instalações a nível nacional venha a aumentar.

A constante subida de preços da matéria-prima dos equipamentos constituintes de uma instalação fotovoltaica, coloca este ramo de negócio num patamar onde só uma minoria pode usufruir desta forma de energia limpa.

Podemos ainda verificar que, para termos uma ideia do custo de uma instalação fotovoltaica, o preço do Wp para sistemas isolados é de cerca de 12€ e para sistemas ligados à rede ronda os 7€.

Em termos de retorno do investimento, os sistemas isolados têm longos tempos de não rentabilidade, alguns chegam a nunca serem considerados como rentáveis. A grande vantagem é a sua aplicação em zonas remotas cuja electrificação significasse um investimento superior.

Hoje em dia, observam-se pequenas aplicações (sinalização e iluminação) de grande utilidade e em que os investimentos não são tão elevados devido às potências serem baixas. No caso da iluminação de sinalização, aplicação de *leds* em vez de lâmpadas incandescentes pode significar a redução da potência instalada em 50%.

Os sistemas mais interessantes são os de ligação à rede e o regime especial. Embora o custo da energia para venda à EDP seja 3 a 4 vezes superior à de compra, não torna o sistema rentável num curto espaço de tempo. O actual incentivo do Estado, para as empresas com elevadas taxas de IRC, podem em 4 anos pagar uma instalação fotovoltaica e depois prosseguir a venda à EDP. É garantida a compra de energia por parte da EDP durante 15 anos.

Bibliografia

Castro, Rui M.G. (2004), INTRODUÇÃO À ENERGIA FOTOVOLTAICA

Concurso Solar, Padre Himalya, GUIA DA ENERGIA SOLAR

Diário da República Electrónico – <http://dre.pt>

Internet

López, Rodolfo Dufo, José Luís Bernal Agustín, Página Web Energia Solar Fotovoltaica – (Centro Politécnico Superior, Universidad de Zaragoza)

Markvart, Tom and Luis Castafier (2003), Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications

Portal das Energias renováveis – <http://www.energiasrenovaveis.com/>

<http://power.inescn.pt/claudio/PV.html#43>

www.retscreen.net



FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

BIBLIOTECA



0000105173