

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



FEUP

*Sistema de Observação e Análise
para Parques Fotovoltaicos*

Nuno André Carnido Medeiros

Relatório de Projecto realizada(o) no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia

Orientador: Prof. Dr. José Rui Ferreira
Orientador PROEF - Eurico Ferreira SA: Eng. Fernando Ferreira

Junho de 2008

Prefácio

A crescente problemática da energia, motor da sociedade moderna, conduz à necessidade de uma reflexão sobre as suas formas de aproveitamento e ao seu uso racional.

Estando Portugal fortemente dependente do petróleo como fonte primária de energia, e sendo este um recurso que não possuímos, estamos fortemente dependentes de outros países. Torna-se portanto essencial otimizar e racionalizar a sua utilização e, ao mesmo tempo, através da promoção da eficiência energética e da exploração dos recursos renováveis disponíveis, reduzir a dependência face ao exterior. Temos assim como principais objectivos para o futuro energético a autosustentação energética, reduzindo a dependência de outros países, e também por consequência, a redução das emissões de gases nocivos para o meio ambiente. Esta redução de emissão de poluentes é importante para que se cumpram as metas impostas pela União Europeia.

É dever de todo o cidadão ter preocupações e cuidados com o ambiente para que o futuro da humanidade se mantenha com a qualidade de vida actual ou superior, tomando iniciativas de utilização dos recursos naturais e renováveis e tendo uma postura activa e participativa face a todas as iniciativas que surjam para este efeito.

“A energia é o sangue dos sistemas sócio-económicos e, por isso, vital para o progresso, o desenvolvimento e o bem-estar dos cidadãos”

Resumo

O presente projecto tem por objectivo a criação de uma base de dados, que disponibilizará, na realidade empresarial da Eurico Ferreira, SA, toda a informação indispensável relativa a um parque fotovoltaico que será construído nos próximos meses em Sevilha, Espanha.

O parque fotovoltaico que irei tratar especificamente encontra-se situado em Aznalcóllar, Andalucía, com 1,5 MW de potência. Será o primeiro investimento da empresa no campo da produção fotovoltaica, ainda, numa fase inicial do projecto, sendo a base de dados criada por mim a ferramenta que permitirá a análise e avaliação do funcionamento do parque por parte dos responsáveis no Eurico Ferreira, SA.

No entanto o software estará preparado para a gestão de quaisquer novos parques fotovoltaicos criados futuramente, independentemente da sua realidade geográfica.

Foi-me também pedido que reunisse e apresentasse toda a informação essencial relativa à manutenção de um parque fotovoltaico. A manutenção será abordada como um pilar, sustentáculo da credibilização, do aproveitamento da conversão da radiação solar em energia eléctrica.

Sendo a Eurico Ferreira, SA uma empresa que desde a sua criação em 1984 aposta no mercado energético, com o presente desenvolvimento das energias renováveis começou naturalmente a alargar o seu campo de actividade às mesmas, tendo como horizonte aproveitar as oportunidades que o mercado lhe proporcionar.

Abstract

This project aims at the creation of a database, which will save all the information necessary on a photovoltaic park that is being built by Eurico Ferreira, SA in the coming months in Seville, Spain.

The park which the database will deal specifically is located at Aznalcóllar, Andalucía with 1.5 MW of power. It will be the first investment of the company in the field of photovoltaic generation, still at an early stage of the project, and the database created by me it's the tool that will enable the analysis and evaluation of the functioning of the park by those responsible in Eurico Ferreira, SA.

However the software will be prepared for the management of any new photovoltaic parks created in the future, regardless of their geographical reality.

I was also asked to meet and provide all essential information concerning the maintenance of a photovoltaic park. The maintenance will be addressed as a pillar, cornerstone of credibility, on the use of converting sunlight into electricity.

As the Eurico Ferreira, SA a company that since its creation in 1984 bet big in the energy market, with this development of renewable energy, they naturally began to extend its field of activity the same, with the horizon seize the opportunities that the market gives.

Agradecimentos

Aos meus pais, irmã, amigos e professores...

Índice

Prefácio	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice	xi
Lista de figuras	xiii
Lista de tabelas	xv
Abreviaturas e Símbolos	xvi
Capítulo 1	- 1 -
Introdução	- 1 -
Capítulo 2	- 3 -
Radiação Solar	- 3 -
2.1 - Generalidades	- 3 -
2.2 - O Sol.....	- 4 -
2.3 - Radiação Solar	- 6 -
Capítulo 3	- 15 -
Sistema Fotovoltaico	- 15 -
3.1 - Generalidades	- 15 -
3.2 - Perspectiva Histórica.....	- 19 -
3.3 - Células Fotovoltaicas.....	- 19 -
3.4 - Painel Fotovoltaico	- 26 -
3.5 - Efeito Fotovoltaico	- 27 -
Capítulo 4	- 29 -
Políticas de Desenvolvimento	- 29 -
4.1 - Portugal	- 29 -
4.2 - Espanha.....	- 34 -

Capítulo 5.....	- 35 -
Bases de Dados.....	- 35 -
5.1 - Modelos de bases de dados	- 35 -
5.2 - Aplicativo de Base de Dados.....	- 38 -
Capítulo 6.....	- 41 -
6.1 - Princípios básicos.....	- 41 -
6.2 - Esquema de funcionamento da aplicação.....	- 42 -
Capítulo 7.....	- 59 -
Manutenção.....	- 59 -
7.1 - Objectivos da Manutenção.....	- 60 -
7.2 - Manutenção em Sistemas de Energia	- 61 -
7.3 - Conceito ATR - Real time analysis.....	- 62 -
Capítulo 8.....	- 65 -
Conclusões.....	- 65 -
Referências	- 67 -

Lista de figuras

Figura 2.1 - Esquema ilustrativo da trajectória solar [6]	- 4 -
Figura 2.2 - Visualização da declinação no sistema orbital Terra-Sol [13]	- 7 -
Figura 2.3 - Comparação entre o espectro solar de diferentes tipos de radiação [13].....	- 8 -
Figura 2.4 - Componentes da radiação [13].....	- 10 -
Figura 2.5 - Representação dos ângulos segundo as técnicas solares [13].....	- 11 -
Figura 3.1 - Mapa de radiação português [16]	- 15 -
Figura 3.2 - Esquema típico de uma instalação fotovoltaica ligada à rede [13].....	- 17 -
Figura 3.3 - Esquema típico de uma instalação fotovoltaica isolada [13]	- 18 -
Figura 3.4 - Esquema de energia da célula fotovoltaica de Gratzel [21]	- 20 -
Figura 3.5 - Principais tipos de células fotovoltaicas [20].....	- 23 -
Figura 3.6 - Condução extrínseca com silício dopado com impurezas do tipo n e p [25] ...	- 24 -
Figura 3.7 - a)Superfície activa de uma célula [26]; b)Constituição interna de uma célula-	- 25 -
Figura 3.8 - Módulo fotovoltaico sombreado com díodos de derivação [13]	- 26 -
Figura 3.9 - Conjunto de módulos solares ligados [28].....	- 27 -
Figura 3.10 - Estrutura e função de uma célula cristalina solar [23].....	- 27 -
Figura 6.1 - Fluxograma inicial da aplicação.....	- 42 -
Figura 6.2 - Página inicial da aplicação.....	- 42 -
Figura 6.3 - Fluxograma para parques nacionais	- 43 -
Figura 6.4 - Página inicial (parques nacionais)	- 43 -
Figura 6.5 - Página para preenchimento de novo registo (Parques Nacionais)	- 44 -

Figura 6.6 - Configuração da caixa de combinação "Parques"	44 -
Figura 6.8 - Adicionar novo Parque ou Ano	45 -
Figura 6.7 - a) Configuração de caixa de combinação "Mês"; b) Caixa de combinação "Mês"-	45 -
Figura 6.9 - Formulário para adicionar novo parque	46 -
Figura 6.10 - Formulário para adicionar novo ano.....	46 -
Figura 6.11 - Caixa de confirmação de saída da aplicação	47 -
Figura 6.12 - Caixa de aviso de registo já anteriormente adicionado.....	47 -
Figura 6.13 - Caixa de erro por campos a preencher	48 -
Figura 6.14 - Erro de dados inválidos	48 -
Figura 6.15 - Caixa de erro por digitar valor não numérico.....	48 -
Figura 6.16 - a) Antes de seleccionar "Pesquisar Relatório"; b) Aparecimento caixa de parâmetros de pesquisa ao seleccionar "Visualizar Relatório"; c) Caixa de selecção de parâmetros de pesquisa.....	49 -
Figura 6.17 - Caixa de erro de registo não existente	50 -
Figura 6.18 - Caixa de erro por dados inválidos.....	50 -
Figura 6.19 - Formato de relatório de produção de um parque nacional	51 -
Figura 6.21 - Gráfico exemplificativo da Temperatura Média.....	52 -
Figura 6.20 - a) Formulário para escolha de parâmetros de visualização de gráficos; b) Parâmetros disponíveis	52 -
Figura 6.22 - Gráfico exemplificativo da Irradiação Média	53 -
Figura 6.23 - Gráfico exemplificativo da Média de Horas de Sol.....	53 -
Figura 6.24 - Gráfico exemplificativo da Energia Produzida.....	53 -
Figura 6.25 - Gráfico exemplificativo do Rendimento da Instalação.....	54 -
Figura 6.26 - Gráfico exemplificativo da Facturação	54 -
Figura 6.27 - Fluxograma para parques internacionais	54 -
Figura 6.28 - Página Inicial (Parques Internacionais)	55 -
Figura 6.29 - Página para preenchimento de novo registo (Parques Nacionais).....	55 -
Figura 6.30 - a) Caixa de Tarifa; b) Botão para alterar tarifa; c) Caixa de confirmação; d) Caixa para digitar novo valor de tarifa;	56 -
Figura 6.31 - Formulário para adicionar novo parque	57 -
Figura 6.32 - Formato de relatório de produção de um parque internacional	58 -
Figura 7.1 - Conceito de análise em tempo real nos sistemas fotovoltaicos.....	63 -

Lista de tabelas

Tabela 2.1 - Principais características do Sol [11].....	- 6 -
Tabela 4.1- Valores de Z correspondente aos vários tipos de instalações.....	- 33 -
Tabela 7.1 - Calendarização de manutenção para um sistema fotovoltaico [13]	- 62 -

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
GEE	Gases efeito estufa
Ac	Corrente alternada
HVAC	<i>Heating, Ventilation and air conditioning</i>
EFG	<i>Edge-defined Film-Fed Growth</i>
CODASYL	<i>Conference on Data Systems Languages</i>
SGBD	Sistema gestor de base de dados
ODBC	<i>Open Data Base Connectivity</i>
SQL	<i>Structured query language</i>

Lista de símbolos

E	Energia
m	Massa
c	Velocidade da Luz
δ	Declinação Solar
φ	Latitude
δ	Declinação
β	Inclinação
γ	Ângulo azimutal
θ	Ângulo de incidência
θ_z	Ângulo zenital
ω	Ângulo horário
h	Altura solar

Capítulo 1

Introdução

A energia solar tem e terá um papel preponderante na batalha pelo desenvolvimento sustentável. Para além de ser um recurso cuja energia é de grande interesse e utilidade, todos os restantes recursos renováveis dependem de si directa ou indirectamente.

Numa realidade onde cada dia se verificam mais problemas ambientais e acidentes naturais, torna-se necessário mudar de atitude relativamente ao uso de energia, pois sabe-se que esta está directamente relacionada com essas desordens.

Torna-se então urgente a necessidade de tornar a energia mais eficiente, promovendo a racionalidade da procura de energia útil e mais “saudável”, apoiada em recursos renováveis.

Entende-se por recursos renováveis aqueles que possibilitam a sua utilização sistemática sem risco de se esgotarem. A sua reposição ou regeneração é feita de forma contínua pela Natureza. Em termos de reservas naturais, trata-se de um bem ilimitado [1].

Uma das desordens mais faladas e também mais preocupantes é o efeito estufa provocado, essencialmente, pela queima de combustíveis fósseis nas centrais termoeléctricas para produção de energia eléctrica, originando emissões de CO₂ para a atmosfera. O efeito estufa influencia, por sua vez, o clima, devido às mudanças de concentrações atmosféricas dos diferentes gases que retêm parte da radiação infravermelha, proveniente da superfície da terra.

“A temperatura média da Terra resulta de um equilíbrio entre o fluxo de radiação solar que chega à superfície e o fluxo de radiação infravermelha enviada para o espaço. A energia solar, depois de atravessar a atmosfera, chega à superfície da Terra, maioritariamente, sob a forma de radiação de pequeno comprimento de onda, aquecendo a superfície terrestre. A terra emite parte desta energia sob a forma de radiação de grande comprimento de onda, ou radiação infravermelha, que é absorvida pelo vapor de água, o dióxido de carbono, e outros gases com efeito de estufa (GEE) presentes na atmosfera”.

Estes gases permitem a ocorrência de diferentes processos responsáveis pela temperatura da Terra. As emissões de GEE resultantes das actividades humanas aumentam a capacidade da atmosfera para absorver radiação infravermelha, alterando a forma como o clima mantém o balanço entre a energia que sai e entra na Terra” [2], provocando o aquecimento global do planeta. Este constitui umas das principais preocupações da humanidade, pelas consequências nefastas em domínios tais como, o aumento da temperatura média à superfície terrestre, provocando os degelos e consequentemente levando à subida do nível dos oceanos.

O homem, sendo por natureza um pensador, procura incessantemente as melhores ferramentas ou as melhores técnicas para o ajudarem a viver melhor e a realizar as suas tarefas de um modo mais fácil e rápido. Porém, estas nem sempre são concebidas medindo todas as suas consequências, nomeadamente no aumento do consumo de energia que provocam. O conceito de civilização tornou-se simultaneamente sinónimo de progresso material e de aumento de desperdício.

Sendo os sectores da indústria e dos transportes os principais consumidores de energia final, e estando o sector de serviços e o doméstico a aumentar a sua quota, sinónimo da melhoria do bem-estar social e do desenvolvimento económico [3], é então evidente, encontrar soluções para esse aumento do consumo de energia, para a respectiva produção de energia eléctrica, tentando minimizar os prejuízos que daí advêm. Conclui-se que, qualidade de vida, desenvolvimento, ambiente e energia estão todos inter-relacionados e são indissociáveis, porque qualquer actividade humana envolve a utilização de energia, devendo então esta ser efectuada da melhor forma.

Apesar de, no panorama europeu, Portugal ser o país com menor consumo per-capita de energia temos um longo processo ainda a cumprir visando o desenvolvimento sustentável.

Tendo de respeitar o compromisso assumido no Protocolo de Quioto, é urgente a adopção de estratégias que modifiquem a dependência do petróleo. Aliás, é urgente melhorar a eficiência energética do país pois não se pode continuar a depender tanto do exterior a nível energético.

Portugal tem então de se modificar, tem que aproveitar e explorar o potencial imenso que possui no que diz respeito às energias renováveis, nomeadamente a energia solar, ponderar os factores estratégicos de desenvolvimento sócio-económico que a energia produz a nível mundial, bem como a diversificação do fornecimento de energia, exigida pelo fim anunciado do petróleo devido à escassez de combustíveis fósseis, assim como a tomada de consciência dos problemas ambientais e a necessidade do desenvolvimento sustentável. A integração da vertente ambiental nas políticas sectoriais, nomeadamente na política energética, e mais concretamente no sector eléctrico, reveste-se assim de grande actualidade e de um interesse crescente [4].

Capítulo 2

Radiação Solar

2.1 - Generalidades

O planeta Terra é um sistema termodinâmico não isolado, onde, no seu interior, se processam inúmeras evoluções caracterizadas pela permuta de energia e a geração de entropia.

A única energia que recebe do exterior provém do Sol, reenviando-a praticamente nas mesmas quantidades sob a forma de radiação de pequeno comprimento de onda. Uma pequena parte é directamente reflectida e outra é armazenada nas plantas através da fotossíntese.

A potência que se poderá obter é de 1367 W/m^2 [5], podendo variar este valor devido à excentricidade orbital da terra, mais forte no Verão / Inverno e mais fraco no Outono / Primavera, e designa-se Constante Solar, constituindo-se como base de cálculo sobre esta forma de energia.

A sucessão das estações do ano, a variação anual das temperaturas, deve-se à variação da distância entre a Terra e o Sol, logo, da quantidade de energia que chega à superfície terrestre e, juntamente com a sucessão dia / noite, é um dos principais factores que permitem à maioria das espécies regular os seus relógios biológicos, ou seja, os seus ritmos de vida.

Porém, a periodicidade diária e sazonal, característica deste tipo de energia, implica a sua integração em dispositivos de armazenamento, assim como o carácter difuso implica que o valor médio de potência colocado ao dispor seja muito reduzido, comparando com aproveitamentos clássicos como centrais térmicas ou hídricas.

O uso que podemos fazer desta energia depende muito da trajectória aparente do Sol e da duração da exposição solar. É a trajectória aparente do Sol que define a duração da

exposição solar, e é o ângulo de incidência dos raios solares que determina a intensidade da radiação.

No hemisfério Norte, só há dois dias por ano em que o eixo de rotação da Terra é perpendicular ao plano do seu movimento em torno do Sol, ou seja, o equinócio da Primavera e o equinócio do Outono. Nestes, a duração do dia ou da noite é igual, nascendo o Sol a Leste e pondo-se a Oeste, figura 2.1.

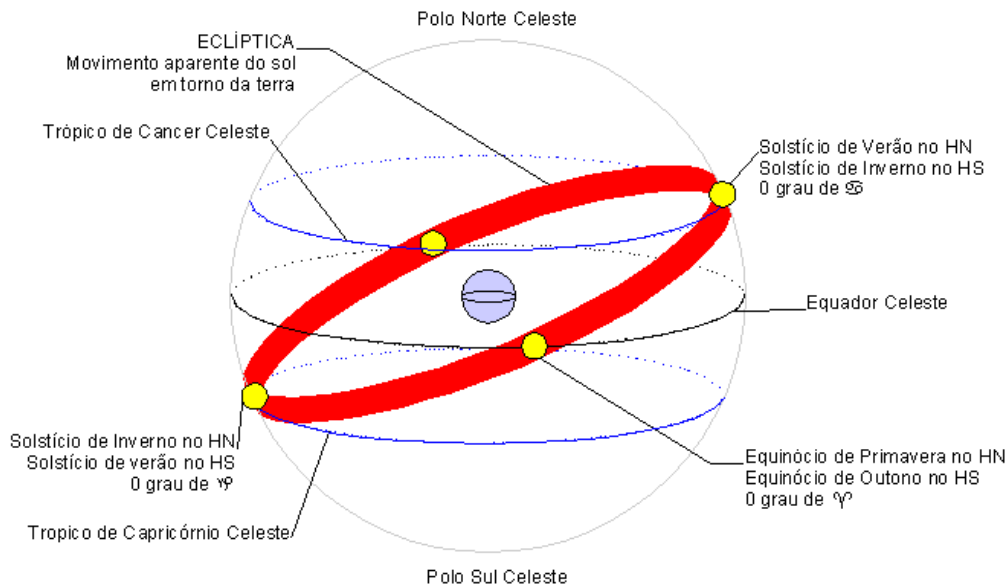


Figura 2.1 - Esquema ilustrativo da trajetória solar [6]

Estando o Sol presente na origem de praticamente todas as fontes de energia, e sendo o seu aproveitamento inesgotável numa escala temporal humana, esta é então uma das alternativas energéticas mais promissoras, nomeadamente no campo das energias renováveis, ditas limpas. A radiação solar emitida por este pode ser convertida em energia útil sob diversas formas dando assim ao Sol uma importância inigualável relativamente ao desenvolvimento e sobrevivência de todos os seres.

2.2 - O Sol

O sol tem, desde o início dos tempos, uma influência denotada na vida do ser humano. Para além do homem usar a sua energia para várias actividades do seu quotidiano, muitas civilizações o têm também venerado.

Já há 5000 anos atrás povos "adoravam" o sol. Os egípcios veneravam o Deus Ra, o deus do sol, que foi considerado o primeiro rei de Egípto. Na Mesopotâmia, o deus do sol Shamash foi também uma grande divindade. Na Grécia, havia dois deuses do sol, Apollo e Helios. A influência do sol aparece também em outras religiões - Zoroastrianismo, Mithraísmo, religião romana, hinduísmo, budismo - e povos - os Druidas da Inglaterra, os Aztecas do México, os Incas do Peru, e muitas tribos nativas [7].

O sol é a estrela que se encontra no centro do Sistema Solar. É uma estrela de tamanho médio. A Terra e todos os outros planetas, asteróides, meteoróides, cometas e poeira giram à volta do Sol que por si só representa cerca de 99,8% da massa do sistema solar. A energia do Sol, sob a forma de luz e calor, suporta quase toda a vida na Terra através da fotossíntese, e é responsável pelas condições climáticas e meteorológicas da Terra.

A superfície do Sol é composta por hidrogénio (cerca de 74% da sua massa, ou 92% do seu volume), hélio (cerca de 24-25% da massa, 7% do volume), e de outros elementos em pequena percentagem. O Sol tem uma classe espectral de G2V o que implica que tem uma temperatura da superfície de cerca de 5780K, dando-lhe uma cor branca, que, devido à dispersão atmosférica, parece amarelo quando visto a partir da superfície da Terra [9].

Seu espectro contém linhas de metais neutros e ionizados, bem como muitas linhas de hidrogénio muito fracas.

Actualmente, pensa-se que a energia das estrelas provém da fusão de núcleos atómicos. O processo mais frequente é a transformação de quatro núcleos do isótopo mais comum de hidrogénio (H1) num núcleo do isótopo mais comum de hélio (He4). Ocorre a transformação de quatro protões em uma partícula, constituída por dois protões e dois neutrões. A massa da partícula α é menor que a dos quatro protões e a energia correspondente a esta diferença de massa é dada pela equação de Einstein:

$$\Delta E = \Delta m \times c^2 \quad (2.1)$$

A fusão do hidrogénio pode-se processar de duas formas, através da reacção protão - protão (cadeia PP) ou pelo ciclo do carbono - nitrogénio (cadeia CN). Admitindo que apenas 10% do hidrogénio localizado nas regiões mais centrais do sol possa ser utilizado na geração de energia, obtêm-se uma energia disponível da ordem dos 10^{51} erg. A queima do hidrogénio pode ser realizada durante muito tempo mas um dia esgotar-se-á [10].

Para estimar a disponibilidade da radiação solar, por aproximação, deve-se considerar a fracção de energia total incidente na atmosfera que chega à superfície terrestre e que esteja

disponível para o aproveitamento energético. Este assunto será abordado de seguida com mais atenção.

Existem mais de 100 milhões de estrelas de classe G2 estrelas na nossa galáxia. Uma vez considerado como uma pequena e relativamente insignificante estrela, o Sol é agora conhecido por ser mais brilhante do que 85% das estrelas na galáxia, a maioria dos quais são anãs vermelhas.

O sol órbita no centro da Via Láctea a uma distância de aproximadamente 26000 anos-luz do centro galáctico, completando uma revolução em cerca de 225-250 milhões de anos. A sua velocidade orbital aproximada é de 220 quilómetros por segundo, equivalente a cerca de um ano-luz a cada 1400 anos. Na tabela 2.1 apresentam-se as principais características do Sol.

Tabela 2.1 - Principais características do Sol [11]

Raio	700.000 km,	109 raios terrestres
Superfície	$6,16 \cdot 10^{13} \text{ km}^2$	11.881 vezes a terrestre
Volume	$1,44 \cdot 10^{18} \text{ km}^3$	$1,3 \cdot 10^6$ vezes o terrestre
Massa	$1,9 \cdot 10^{30} \text{ kg}$	334.672 vezes a terrestre
Densidade	$1,4 \text{ g/cm}^3$	0,26 vezes a terrestre
Luminosidade	$3,9 \cdot 10^{27} \text{ kW}$	-----
Temperatura Superficial	5770 K	-----
Temperatura no Centro	$1,5 \cdot 10^7 \text{ K}$	-----
Gravidade Superficial	276 m/s^2	28 vezes a terrestre

2.3 - Radiação Solar

Dos $62,5 \text{ MW/m}^2$ emitidos pela superfície solar apenas 1 kW/m^2 chega à superfície terrestre, após percorrer 150 milhões de km em 8 minutos.

O nosso planeta, no seu movimento anual em torno do Sol, descreve em trajectória elíptica num plano que é inclinado de aproximadamente $23,5^\circ$ em relação ao plano equatorial. Esta inclinação é responsável pela variação da elevação do Sol no horizonte em relação à mesma hora, ao longo dos dias, dando origem às estações do ano e dificultando os cálculos da posição do Sol para uma determinada data, como pode ser visto na figura 2.2.

A posição angular do Sol, ao meio dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte positivo) é chamada de Declinação Solar (δ). Este ângulo, que pode ser visto na equação (2.2) é baixo e varia, de acordo com o dia do ano, dentro dos seguintes limites [12]:

$$-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ \quad (2.2)$$

A soma da declinação com a latitude local determina a trajectória do movimento aparente do Sol para um determinado dia numa dada localidade na Terra.

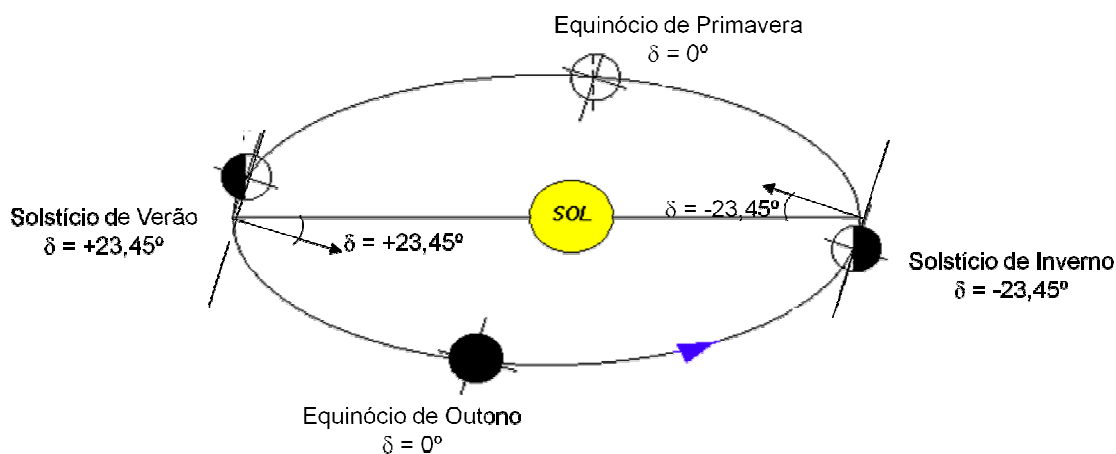


Figura 2.2 - Visualização da declinação no sistema orbital Terra-Sol [13]

A radiação solar que atinge o topo da atmosfera terrestre provém da região da fotosfera solar que é uma camada ténue com aproximadamente 300 km de espessura e temperatura superficial da ordem de 5800 K. Porém, esta radiação não se apresenta como um modelo de regularidade, pois há a influência das camadas externas do Sol (cromosfera e coroa), com pontos quentes e frios, erupções cromosféricas, etc.

Apesar disto, pode-se definir um valor médio para o nível de radiação solar incidente normalmente sobre uma superfície situada no topo da atmosfera. Dados recentes da WMO (*World Meteorological Organization*) indicam um valor médio de 1367 W/m^2 para a radiação extraterrestre. Fórmulas matemáticas permitem o cálculo, a partir da “Constante Solar”, da radiação extraterrestre ao longo do ano, fazendo a correcção pela órbita elíptica [5].

A radiação solar é radiação electromagnética que se propaga a uma velocidade de 300.000 km/s, podendo-se observar aspectos ondulatorios e corpusculares. Em termos de comprimentos de onda, a radiação solar ocupa a faixa espectral de $0,1 \mu\text{m}$ a $5 \mu\text{m}$, tendo uma máxima densidade espectral em $0,5 \mu\text{m}$, que é a luz verde [14].

É através da teoria ondulatória, que são definidas, para os diversos meios materiais, as propriedades na faixa solar de absorção e reflexão e, na faixa de 0,75 a 100 μm , correspondente ao infravermelho, as propriedades de absorção, reflexão e emissão, figura 2.3.

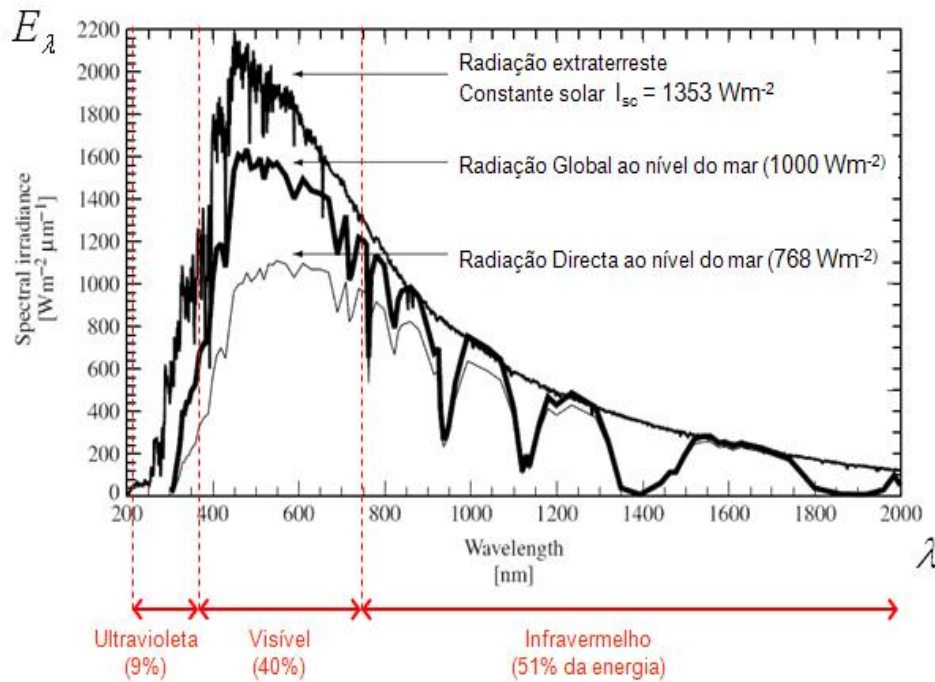


Figura 2.3 - Comparação entre o espectro solar de diferentes tipos de radiação [13]

A radiação solar, ao atingir a interface entre dois meios com índices de refração distintos, os quais neste caso são o espaço interestelar e a atmosfera terrestre, sofre modificações na sua trajectória, modificações essas que podem ser determinadas a partir das leis de Snell.

Ao atravessar a atmosfera, a composição espectral da radiação varia de acordo com as características da atmosfera local. Sendo assim, a radiação que chega à superfície terrestre, consequentemente a energia disponível, varia segundo a posição no globo, a radiação incidente e as características geográficas e meteorológicas locais, revestindo-se estas últimas de um carácter aleatório e imprevisível.

Uma fracção da radiação solar que atinge a atmosfera é reflectida de volta ao espaço interestelar. Uma parte da radiação que entra na atmosfera é absorvida pelos elementos que a constituem, outra é espelhada pelas partículas em suspensão (radiação difusa). A fracção da radiação que não foi reflectida, absorvida ou espelhada pela atmosfera, atinge o solo terrestre (radiação directa), podendo ser absorvida ou reflectida (albedo).

2.3.1 - Radiação solar incidente na superfície terrestre

A radiação solar que incide na superfície terrestre possui uma natureza intrinsecamente variável no tempo. Além das flutuações devido à actividade solar, as quais não são muito expressivas, existem as variações ocorridas devido ao ciclo diário dos dias e das noites e do ciclo anual das estações, variações sazonais, assim como as alterações na radiação incidente, devido ao carácter aleatório do estado da atmosfera, visto que a nebulosidade, as partículas e a poluição são variáveis aleatórias.

As flutuações ocorridas devido aos dias e às noites ou à sazonalidade são, de certa forma, equacionáveis, mas as variações na intensidade da radiação incidente na superfície terrestre ocorridas devido ao estado intrinsecamente aleatório da atmosfera só podem ser tratados estatisticamente. Assim, têm sido desenvolvidos vários modelos a fim de que com os dados disponíveis, se possa determinar a disponibilidade de energia radiante solar em qualquer localidade.

Podemos então dizer que a radiação solar proveniente do Sol ao atravessar a atmosfera, uma parte é absorvida (acção do ozono, oxigénio, vapor de água, etc.) e a outra é dispersa (através da acção de moléculas com elementos químicos presentes, gotas de água, poeiras em suspensão, etc.). Sendo assim, a radiação global que atinge um plano localizado na superfície terrestre pode ser decomposta em três componentes, figura 2.4:

- **Radiação directa:** constituída por raios solares recebidos em linha recta do sol
- **Radiação difusa:** procedente de todo o céu visível, excluindo o disco solar, e originada pelos raios não directos e dispersos pela atmosfera. Depende fundamentalmente das nuvens, sendo muito variável no tempo. Podem existir vários tipos de modelizações (isotrópico, circunsolar, método de Klucher, método de Hay)
- **Radiação reflectida:** Constituída pela parcela da radiação que é reflectida ao atingir o solo, denominada radiação do albedo. Esta componente pode ser significativa em aplicações onde o ângulo de inclinação dos módulos se aproxima da vertical, como em fachadas de edifícios, ou então em regiões de maior latitude, onde há neve em abundância e elevados índices de reflexividade.

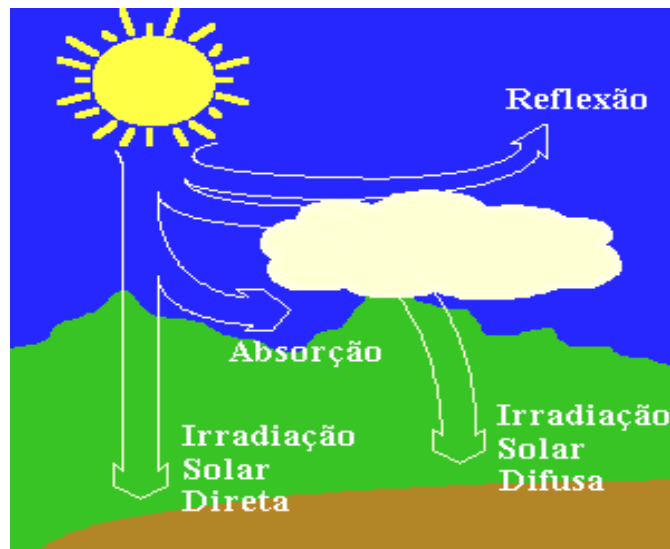


Figura 2.4 - Componentes da radiação [13]

2.3.2 - Direcção da Radiação Directa

A posição relativa entre um plano qualquer situado na superfície da terra e o Sol é determinado em função de uma serie de ângulos [14]:

- A latitude, φ , é a localização Norte ou sul em relação ao equador. É considerada positiva no hemisfério Norte e negativa no hemisfério sul: $-90^\circ < \varphi < 90^\circ$;
- A declinação, δ , é a posição angular do Sol, ao meio-dia, em relação ao plano do equador. Quando o Sol está ao Norte do equador, a declinação é positiva, caso contrário, negativa: $-23,45^\circ < \delta < 23,45^\circ$;
- A inclinação, β , de uma superfície é o ângulo entre o plano da superfície em questão e a horizontal do local: $0 < \beta < 180^\circ$;
- O ângulo azimutal, γ , é a distância angular entre a projecção da normal ao plano na horizontal e o meridiano local. É igual a zero quando a superfície está voltada para sul, negativa para Leste e positiva para Oeste: $-180^\circ < \gamma < 180^\circ$;
- O ângulo de incidência, θ , é o ângulo formado entre os raios solares na superfície e a normal a esta superfície;
- O ângulo zenital, θ_z , é o ângulo formado entre os raios solares e a vertical;
- O ângulo horário, ω , é a distância angular entre o feixe solar e o meridiano local. ω é considerado negativo no período da manhã (Sol antes do meridiano), e positivo no período da tarde. Cada hora do dia corresponde a uma variação de 15° em ω ;
- A altura solar, h , é o ângulo entre a radiação directa e o plano horizontal. É numericamente igual a $90 - \theta_z$.

Para determinar o ângulo de incidência da radiação directa numa qualquer superfície, θ , pode-se utilizar a equação:

$$\cos\theta = \text{sen}\delta\text{sen}\Phi\cos\beta - \text{sen}\delta\cos\Phi\text{sen}\beta\cos\gamma + \cos\delta\cos\Phi\cos\beta\cos\omega + \cos\delta\text{sen}\Phi\text{sen}\beta\cos\gamma\cos\omega + \cos\delta\cos\beta\text{sen}\gamma\text{sen}\omega \quad (2.3)$$

Para calcular θ_z , basta fazer a inclinação β do plano igual a zero, neste caso, $\theta=\theta_z$. Assim, obtém-se a equação:

$$\cos\theta_z = \cos\delta\cos\Phi\cos\omega + \text{sen}\delta\text{sen}\Phi \quad (2.4)$$

Em alguns casos, é importante conhecer o ângulo horário entre o nascer do sol e o pôr-do-sol, ω_s . No caso de o nascer do Sol:

$$\omega_s = -\arccos(-\text{tg}\delta\text{tg}\Phi) \quad (2.5)$$

O ângulo horário de saída do Sol sobre uma superfície com inclinação β em relação à horizontal, $\omega_{s,\beta}$, pode ser encontrado através da equação:

$$\omega_{s,\beta} = -\arccos(-\text{tg}\delta\text{tg}(\Phi - \beta)) \quad (2.6)$$

O número de horas que o Sol ficará acima do horizonte da superfície em questão, N , ou seja, o comprimento do dia em horas é dado pela equação:

$$N = \frac{2}{15} \arccos(\omega_s) \quad (2.7)$$

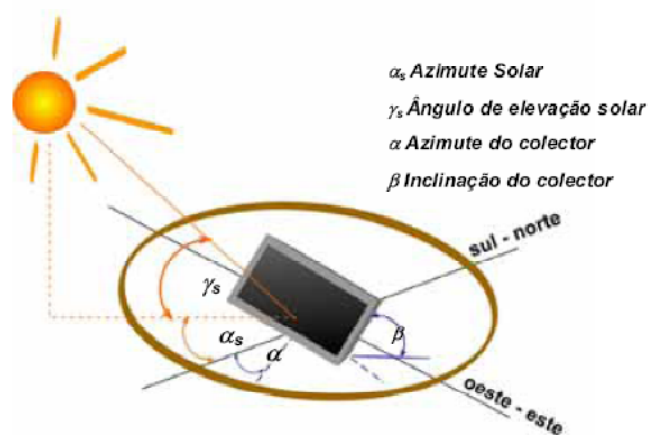


Figura 2.5 - Representação dos ângulos segundo as técnicas solares [13]

2.3.3 - Aproveitamentos da Radiação Solar

O sol está também presente na origem de quase todas as fontes de energia e sendo o seu aproveitamento inesgotável, numa escala temporal humana, este é então uma das alternativas energéticas mais promissoras, no que diz respeito às energias ditas limpas. A radiação solar que o sol emite pode ser convertida em várias formas de energia útil como [15]:

Agricultura e horticultura: A fotossíntese é o processo através do qual as plantas, seres autotróficos (seres que produzem seu próprio alimento) e alguns outros organismos transformam energia luminosa em energia química. Sendo assim, como a maior parte da vida na terra depende da capacidade das plantas realizarem este importante processo, verificamos então a importância do sol nesta área já que é fundamental para a agricultura o uso eficiente.

Arquitetura e planeamento urbano: O design solar pode fornecer para além da iluminação prática e natural uma temperatura confortável e melhorar a qualidade do ar. Como o clima varia de acordo com a região, o próprio design com vista ao aproveitamento solar, variará com a localização.

Aquecimento solar: Esta é a categoria mais amplamente utilizada no leque de aplicações da energia solar. Usa o calor proveniente do sol para vários processos como:

- O aquecimento de águas onde sistemas solares de água quente utilizam a radiação solar para aquecimento de água;
- O aquecimento de um espaço onde os sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC) estão intimamente interligados. Todos visam proporcionar conforto térmico, a qualidade do ar interior aceitável, razoáveis custos de instalação, operação e manutenção.
- O aquecimento em processos industriais onde as tecnologias solares térmicas podem fornecer a energia calorífica necessária aos processos de fabrico provocando reacções químicas endotérmicas (que necessitam de uma determinada energia para ocorrer) necessárias a determinado processo, fornecendo o calor para fundição de metais;
- Em culinária onde os fornos solares utilizam a energia solar para cozinhar, secar e pasteurizar os alimentos;
- Dessalinização que é o processo onde se remove o excesso de sal e outros minerais da água por aquecimento solar;

- Pasteurização da água (purificação) onde é utilizada a energia solar para desinfetar a água, mantendo-a a uma temperatura acima de 60 ° C durante determinado período de tempo;

Produção de electricidade: Sistemas fotovoltaicos aproveitam a energia solar convertendo directamente radiação solar em electricidade através do efeito fotovoltaico.

Aplicações indirectas da radiação solar: Não se pode esquecer que é a partir do sol que se dá a evaporação, origem do ciclo da água, que quando armazenada possibilita a produção de electricidade. Assim como é responsável por inúmeros fenómenos meteorológicos, como os ventos, resultante do aquecimento diferencial dos mares e continentes, assim como de várias zonas da terra, em consequência do fenómeno de rotação. Ventos esses que são aproveitados também para gerar electricidade. O sol está também na origem de combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão e o gás natural, estão são os resíduos de plantas e animais que obtiveram através do sol a energia necessária à sua decomposição.

Capítulo 3

Sistema Fotovoltaico

3.1 - Generalidades

Portugal, pela sua situação geográfica, possui excelentes condições climatéricas. Pode atingir índices de produção entre os 1000 e os 1700kWh instalado, através de conversão fotovoltaica [16].

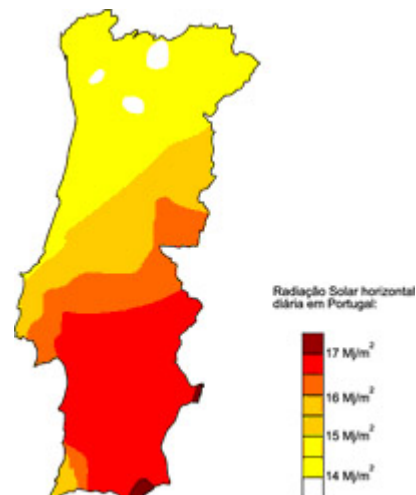


Figura 3.1 - Mapa de radiação português [16]

Até ao final de 2000, a potência instalada em Portugal era de aproximadamente 1000kWp, ocupando 52% do sector doméstico em sistemas isolados da rede, 20% em serviços

(sistemas SOS, parquímetros, etc.), 26% sistemas ligados à rede e 2% em instalações para fins de investigação de desenvolvimento [17].

Actualmente o desenvolvimento deste tipo de tecnologias já permite uns índices de eficiência entre os 15% e os 17%, sendo já possível encontrar soluções que para além de eficazes sejam também atractivas do ponto de vista estético [17].

Um dos grandes inconvenientes desta tecnologia é ainda o seu elevado custo. Esta desvantagem tem vindo a impedir o desenvolvimento e aplicação em escala desta tecnologia que poderia tornar-se fundamental na área da produção de energia “limpa”. Se em Portugal se instalasse em cada um dos 3,5 milhões de edifícios existentes, 50 m² de colectores PV com uma potência de 150Wp/m², e 1600 horas de sol por ano, poderíamos satisfazer o consumo final de energia eléctrica apenas com recurso à tecnologia fotovoltaica.

A tecnologia dos painéis solares fotovoltaicos permite converter directamente a energia solar em electricidade com elevado grau de fiabilidade, utilizando, normalmente, o silício como material conversor. A energia é captada durante o dia, tendo a inclinação dos painéis um papel fundamental. É armazenada habitualmente em baterias de forma a regularizar o abastecimento obtido, atendendo aos períodos de ausência do sol.

Esta tecnologia não emite GEE ou produz ruído, sendo assim, uma forma de produção de energia eléctrica isenta de poluição se excluirmos os impactos ambientais provocado pelo processo de fabrico e destruição das células [18].

Este sistema encontra-se dividido em aplicações de média potência (dezenas ou centenas de kW), e aplicações de pequena potência (décimas ou unidades de kW).

Nas aplicações de média potência, os painéis fotovoltaicos podem ser utilizados em sistemas:

- Ligados à rede de energia eléctrica, injectando nesta toda a energia através de um inversor que serve de elemento de interface entre o painel e a rede, adequando as formas de onda das grandezas eléctricas DC (corrente contínua) do painel às formas de onda AC (corrente alternada) exigidas pela rede;
- Isolados, injectando em baterias, assegurando desta forma o abastecimento contínuo, pelo que os cálculos do dimensionamento são elaborados tendo em conta o mês com menor radiação solar. Além das baterias que são carregadas quando o recurso disponível permite obter uma potência superior à potência de carga, é necessário um regulador de carga, que efectue uma gestão de carga obtendo deste modo um perfil compatível com a radiação disponível e com a capacidade das baterias, e um inversor, para as cargas alimentadas a AC;
- Híbridos, alimentando directamente cargas isoladas, em conjunto com outros conversores de energias renováveis, por exemplo, o eólico. Além da bateria, o

regulador de carga e do inversor pode ser necessário em meio de produção convencional, tipo gerador diesel, servindo de apoio ou reserva;

- Nos casos de aplicações de pequena potência podemos encontrar pequenos painéis solares em relógios, calculadoras, sinalização marítima, parquímetros, etc.).

No entanto com base na potência instalada, e nos custos indicativos, a Agência Internacional de Energia, sugere uma nova classificação para os sistemas fotovoltaicos [19]:

- Sistemas isolados domésticos (*Off-grid domestic*): sistemas que fornecem energia eléctrica para iluminação, refrigeração e outras pequenas cargas em locais isolados;
- Sistemas isolados não domésticos (*Off-grid non-domestic*): sistemas que fornecem energia eléctrica a serviços como telecomunicações, bombagem de água, estações de recolha de dados meteorológicos, navegação marítima, etc;
- Sistemas distribuídos ligados à rede (*Grid connected distributed*): sistemas que fornecem energia eléctrica a edifícios, comerciais ou industriais, ou outras cargas que também estão ligadas à rede, para onde a energia em excesso é enviada. A potência típica para este tipo de aplicações varia entre 0,5kW e 100kW;
- Sistemas centralizados ligados à rede (*grid-connected centralized*): sistemas que fornecem exclusivamente energia eléctrica à rede.

De seguida apresentam-se, nas figuras 3.2 e 3.3, as configurações típicas de sistemas fotovoltaicos, para sistemas ligados à rede e para sistemas em zonas distantes da rede de distribuição de energia eléctrica, chamados sistemas isolados.

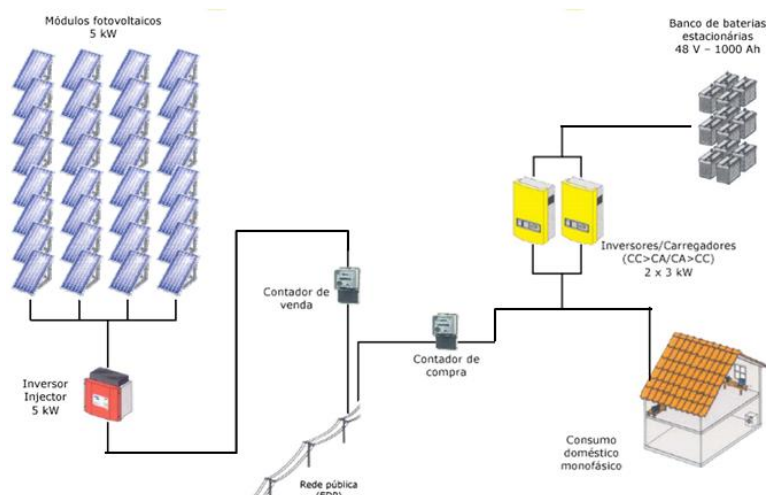


Figura 3.2 - Esquema típico de uma instalação fotovoltaica ligada à rede [13]

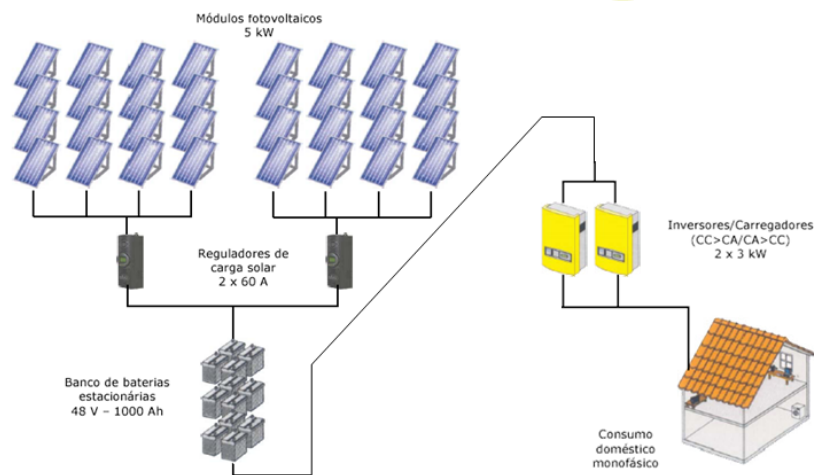


Figura 3.3 - Esquema típico de uma instalação fotovoltaica isolada [13]

A tecnologia solar fotovoltaica apresenta importantes *vantagens*:

- *Alta fiabilidade* - não tem peças móveis, o que é muito útil em aplicações em locais isolados;
- *A fácil portabilidade e adaptabilidade dos módulos* - permitem montagens simples e adaptáveis a várias necessidades energéticas. Os sistemas podem ser dimensionados para aplicações de alguns miliwatts ou de kilowatts;
- *O custo de operação é reduzido* - a manutenção é quase inexistente: não necessita combustível, transporte, nem trabalhadores altamente qualificados;
- A tecnologia fotovoltaica apresenta *qualidades ecológicas* pois o produto final é não poluente, silencioso e não perturba o ambiente;
- *Durabilidade* - tem vida útil superior a 20 anos e é resistente a condições meteorológicas adversas.

No entanto esta tecnologia apresenta também algumas *desvantagens*:

- O fabrico dos módulos fotovoltaicos necessita tecnologia muito sofisticada necessitando de um custo de investimento elevado;
- O rendimento real de conversão dum módulo é reduzido (o limite teórico máximo numa célula de silício cristalino é de 28%), face ao custo do investimento;
- Os geradores fotovoltaicos raramente são competitivos do ponto de vista económico, face a outros tipos de geradores. A excepção restringe-se a casos onde existam reduzidas necessidades de energia em locais isolados e/ou em situações de grande preocupação ambiental;
- Quando é necessário proceder ao armazenamento de energia sob a forma química (baterias), o custo do sistema fotovoltaico torna-se ainda mais elevado.

3.2 - Perspectiva Histórica

Apresenta-se alguns dados cronológicos [20]:

- Em 1839, Becquerel descobre o efeito fotovoltaico num electrólito. Becquerel constatou uma diferença de potencial, nos extremos de uma estrutura de material semiconductor quando exposto à luz;
- Em 1876, Adams descobre o efeito fotovoltaico num semiconductor. Foi montado o primeiro sistema fotovoltaico em resultado de estudo de estruturas no estado sólido;
- Em 1930, Shottky estabelece a teoria do efeito fotovoltaico;
- Em 1954, Pearson, Fuller e Chapin criam a primeira célula fotovoltaica prática (mono-silício);
- Em 1956, inicia-se a produção industrial seguindo o desenvolvimento da micro electrónica. A utilização de foto células teve um papel decisivo nos programas espaciais, impulsionando um avanço significativo na tecnologia fotovoltaica, melhorando-se o processo de construção, a eficiência e o peso das células;
- Em 1958, a utilização das primeiras células fotovoltaicas para alimentar um satélite (Vanguard I);
- Década de 60 - aplicações espaciais da tecnologia fotovoltaica;
- Década de 70 - Lindmeyer faz desenvolvimentos importantes nas células fotovoltaicas, incluindo a célula de Poly-Si;
- Finais da década de 70 - aplicações terrestres superam aplicações espaciais da tecnologia fotovoltaica. Com a crise mundial de energia de 1973/74, a utilização das células fotovoltaicas não se restringe somente aos programas espaciais, sendo utilizadas para suprir o fornecimento de energia;
- Década de 80 - centrais fotovoltaicas piloto de médio porte (dezenas e centenas de kWp) instaladas na Europa e nos EUA;
- Década de 90 - utilização de tecnologia fotovoltaica para electrificação rural na maioria dos países em desenvolvimento.

3.3 - Células Fotovoltaicas

O elemento mais pequeno do sistema fotovoltaico é as células fotovoltaicas. São as responsáveis pela transformação de energia solar em energia eléctrica. Podem produzir potências eléctricas de 1,5W, correspondente a uma tensão de 0,5V e uma corrente de 3A podendo alcançar uma potência mais elevada se forem ligadas em série ou paralelo. No caso

de a potência gerada ser da ordem dos 50 a 100W temos os módulos fotovoltaicos, para potências superiores teremos os painéis fotovoltaicos. Um painel fotovoltaico típico é formado por 30 a 36 células em série para aplicações de 12V.

Quando as células são ligadas em série há um aumento da tensão disponibilizada, enquanto que, quando a ligação é feita em paralelo dá-se um aumento da corrente.

As células são, regra geral, constituídas por um material condutor, o silício (Si) ao qual são adicionadas substâncias, ditas dopantes, de modo a criar um meio adequado ao estabelecimento do efeito fotovoltaico.

No entanto, o facto de se empregar tal material para a construção das células torna a tecnologia fotovoltaica pouco económica, o que, ao longo dos anos, tem atenuado o seu crescimento para a produção de electricidade. Existem várias investigações no mundo, e em Portugal inclusive, com vista a descobrir novos materiais e métodos de preparação que tornem a tecnologia fotovoltaica mais rentável e económica. Em 1991, um grupo de investigação na Suíça, do Instituto Federal de Tecnologia, sob a orientação do Professor Michael Grätzel, desenvolveu uma célula fotovoltaica baseada num corante sintético que transforma uma grande parte da energia solar em energia eléctrica. Ao contrário da fotossíntese, onde a energia solar é utilizada nas plantas para a produção de açúcar, na célula de Grätzel a energia solar é directamente utilizada para a produção de energia eléctrica [21].

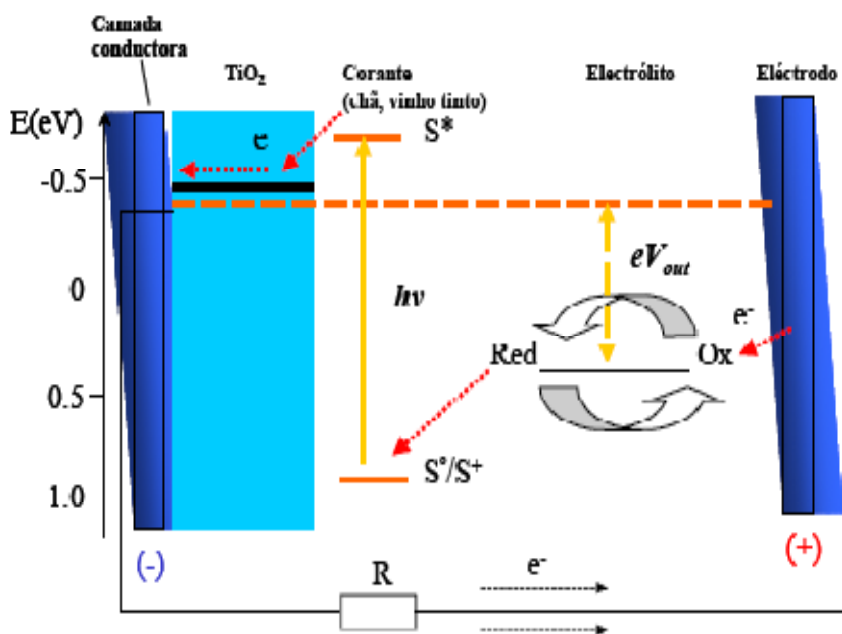


Figura 3.4 - Esquema de energia da célula fotovoltaica de Gratzel [21]

As células, dependendo do método de produção, podem ser de três tipos [22]:

Silício monocristalino: Este tipo de células pertence à primeira geração, sendo obtidas a partir de barras cilíndricas de silício monocristalino produzidas em fornos especiais, através do corte em forma de pastilhas quadradas finas de 0,4 a 0,5mm de espessura. A sua eficiência na conversão de luz solar em electricidade é da ordem dos 15%;

Métodos de produção [23]:

- O processo de Czochralski (processo de extracção de cadinho), foi estabelecido para produzir silício monocristalino para aplicações terrestres. Durante este processo, o núcleo do cristal com uma orientação definida, é imerso num banho de silício fundido (ponto de fusão de 1.420°C) e retirado do banho enquanto roda lentamente. Deste modo, podem ser produzidos cristais únicos redondos com um diâmetro de trinta centímetros e vários metros de largura. Os cristais únicos redondos são estriados em barras semiquadradas e depois cortados em espessas lâminas de 0,3mm (pastilhas). Durante o processo de estriagem dos cristais únicos e de corte das pastilhas, perde-se uma grande parte do silício em forma de pó de serragem. A partir das pastilhas já com impurezas positivas, a fina camada com impurezas negativas é produzida com difusão de fósforo, a temperaturas de 800-1.200°C. Depois de unir a camada de contacto posterior, as pastilhas são equipadas com pistas eléctricas e com uma camada de anti-reflexão (AR) na parte frontal.
- O processo de zona flutuante consiste noutro processo de produção de silício monocristalino, sendo utilizado para a produção de células solares de maior pureza e de maior eficiência (1 a 2%). No entanto, o material bruto necessário para alcançar esta pureza, uma barra de silício cristalino de extrema pureza, é muito dispendioso. É reduzida através de uma espiral e fundida do fundo até à parte superior com a ajuda de um campo de altas frequências. A partir do núcleo de silício monocristalino, é produzido silício monocristalino no topo da barra, à medida que esta arrefece. O material impuro fica, de preferência, no banho de fusão.

Silício policristalino: Estas células são produzidas a partir de blocos de silício obtidos por fusão de bocados de silício puro em moldes especiais, e nestes, o silício arrefece lentamente, solidificando-se, ficando os átomos organizados em mais do que um cristal, formando uma estrutura policristalina com superfícies de separação entre os cristais. A sua eficiência na

conversão de luz solar em electricidade é ligeiramente menor do que nas de silício monocristalino, em virtude da imperfeição do cristal, devido a seu sistema de fabrico;

Métodos de produção [23]:

- O processo de produção mais comum para o silício policristalino, é o de fundição de lingotes. O silício em estado bruto é aquecido no vácuo até uma temperatura de 1.500 °C e depois arrefecido na direcção da base do cadinho, a uma temperatura aproximada de 800 °C. São assim criados os blocos de silício de 40x40cm² com uma altura de 30 cm. Os blocos são primeiro serrados em barras e depois em pastilhas com uma espessura de 0,3mm. Durante a serragem, perdem-se partes do silício na forma de pó de serragem. Depois da introdução de impurezas de fósforo, a camada posterior de contacto é unida à pastilha. Por último, os contactos eléctricos são fixados no lado frontal juntamente com uma camada de anti-reflexão (AR).
- O processo EFG (*Edge-defined Film-Fed Growth*) Alimentação da película com limite de crescimento definido), foi utilizado na produção industrial em série durante muitos anos. Um corpo de forma octogonal feito em grafite é imerso no banho de silício e retirado de seguida. O resultado são tubos octogonais de 5,6m de comprimento, com uma largura lateral de 10cm e uma espessura média da parede de 0,28mm. As pastilhas prontas para ser usadas, são cortadas dos oito lados do Octógono. Deste modo, perde-se menos de 10% do material. Após a contaminação do material com fósforo e a união da camada de contacto posterior, as pastilhas são equipadas com contactos eléctricos no lado frontal e com uma camada de anti-reflexão (AR). Apesar do silício EFG ser policristalino, apresenta um pequeno número de fronteiras entre núcleos e reduzidos defeitos no cristal. Por este motivo, as células assemelham-se mais a células monocristalinas na sua aparência e na sua qualidade eléctrica.

Silício amorfo: Estas células são obtidas por meio da deposição de camadas muito finas de silício sobre superfícies de vidro ou metal. A sua eficiência na conversão de luz solar varia entre os 5 e 7%;

Métodos de produção [23]:

- O silício amorfo (sem forma) não forma uma estrutura regular de cristal, mas uma rede irregular. Como resultado, ocorrem ligações livres que absorvem hidrogénio até

à saturação. Este silício amorfo hidrogenado (a-Si:H) é criado num reactor plasmático, através da vaporização química de Silano Gasoso (SiH_4). Este processo requer temperaturas relativamente baixas, na ordem dos 200°C a 250°C .

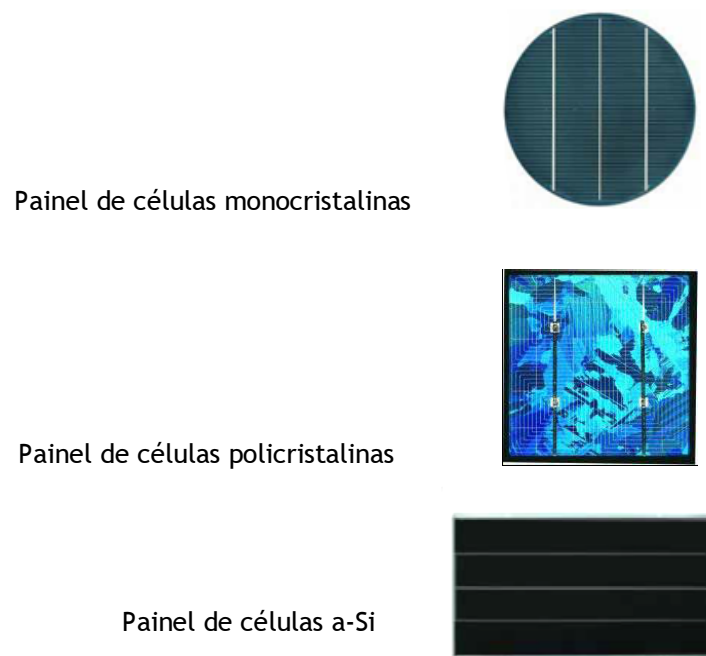


Figura 3.5 - Principais tipos de células fotovoltaicas [20]

3.3.1 - Estrutura microscópica das células [24]

Cada átomo de silício detém quatro electrões de coesão (electrões de valência) na sua camada periférica. Para atingir uma configuração estável de electrões, dois electrões de átomos vizinhos formam um par de ligações de electrões. Através do estabelecimento desta ligação com quatro átomos de silício vizinhos, obtém-se a configuração do gás inerte estável de seis electrões. Com a influência da luz ou do calor, a coesão dos electrões pode ser quebrada. O electrão pode então mover-se livremente, deixando uma lacuna atrás de si, no retículo cristalino. Este processo é designado por auto-condução.

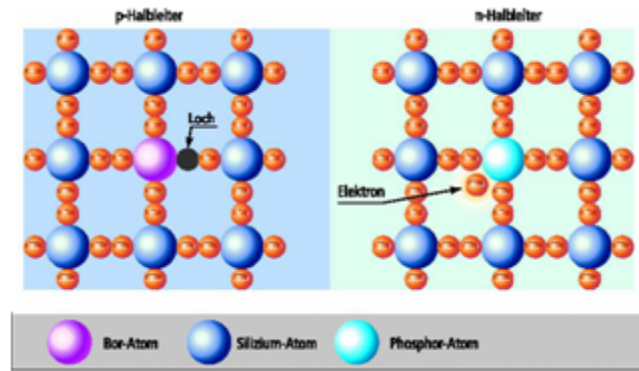


Figura 3.6 - Condução extrínseca com silício dopado com impurezas do tipo n e p [25]

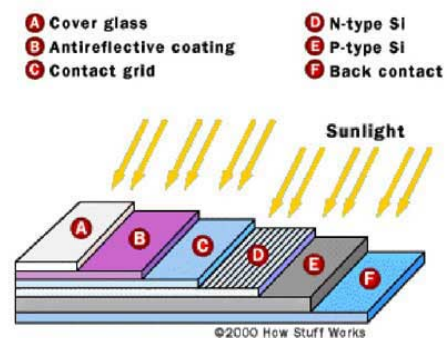
A auto-condução não pode ser utilizada para gerar energia, sendo assim, para que o material de silício funcione como um gerador de energia, o retículo cristalino é proposadamente contaminado com os chamados átomos impuros. Estes átomos possuem um electrão a mais (fósforo), ou um electrão a menos (boro), do que o silício na camada externa de valência. Por este motivo, os átomos impuros causam defeitos no interior do retículo cristalino. Se ao retículo for adicionado fósforo (impureza n), fica um electrão supérfluo por cada átomo de fósforo introduzido. Este electrão pode mover-se livremente dentro do cristal e por isso transportar carga eléctrica. Com o boro (impureza p), fica disponível uma lacuna (electrão de coesão perdido) por cada átomo de boro introduzido. Os electrões dos átomos vizinhos de silício podem preencher este orifício, resultando na produção de uma nova lacuna noutra lugar. O mecanismo condutor que resulta da presença dos átomos impuros, é chamado de condução extrínseca. Contudo, se virmos individualmente o material de impureza p ou n, as cargas livres não têm uma direcção definida durante o seu movimento. Se juntarmos as camadas dos semicondutores n e p impuros, produziremos uma região de transição pn. Isto leva à difusão dos electrões supérfluos do semicondutor n para o semicondutor p na junção. Cria-se assim uma nova área com poucos portadores de carga, designada por barreira de potencial. Na área n da região de transição, os átomos dopantes positivos são remetidos para trás, acontecendo de modo semelhante com os negativos na área p. É criado um campo eléctrico que se mantém contrário ao movimento dos portadores de carga. Por esta razão a difusão não se mantém infinitamente. Se um semicondutor pn (célula solar) é exposto à luz, os fótons são absorvidos pelos electrões. As ligações entre electrões são quebradas por este fornecimento de energia. Os electrões libertados são conduzidos através do campo eléctrico para a área n. As lacunas assim criadas seguem na direcção contrária para a área p. Todo este processo é denominado por efeito fotovoltaico. A difusão dos portadores de carga até aos contactos eléctricos, produz tensão na fronteira da célula solar. Se não estiver ligada a nenhuma carga, é obtida a tensão de circuito aberto na célula solar. Se o circuito eléctrico estiver fechado, a electricidade pode fluir. Contudo, alguns electrões que não alcançam os

contactos são recombinados. A recombinação consiste no processo de unir um electrão livre a um átomo destituído de um electrão de valência (lacuna).

3.3.2 - Estrutura macroscópica das células [25]

A célula fotovoltaica tem a forma de um quadrado com cerca de 10cm de lado e pesa aproximadamente 10 gramas. A sua constituição interna é tipicamente:

- Grelha e contactos frontais (*grid, front contacts*): os contactos frontais, em cobre, constituem os terminais negativos;
- Película anti-reflexo (*anti-reflection coating*): esta película reduz a reflexão da radiação incidente para valores abaixo de 5%; em conjunto com texturas especiais usadas em células de alto rendimento a reflexão pode ser reduzida para valores da ordem dos 2%; sem este revestimento a célula reflectiria cerca de um terço da radiação;
- Camada tipo n (*n-type silicon*): silício dopado com fósforo, constituindo a região negativa da célula; a espessura desta camada é de cerca de 300nm;
- Camada tipo p (*p-type silicon*): silício dopado com boro, constituindo a região positiva da célula; a espessura desta camada é cerca de 250nm;
- Contacto traseiro (*back contact*): contacto metálico localizado na parte posterior da célula, que constitui o terminal positivo;



a)

b)

Figura 3.7 - a) Superfície activa de uma célula [26]; b) Constituição interna de uma célula [27]

3.4 - Painel Fotovoltaico

Os módulos fotovoltaicos são formados por uma determinada quantidade de células fotovoltaicas ligadas em série. A maioria dos módulos comercializados é composta por 36 células de silício cristalino, conectadas em série, para aplicações de 12V. Quanto maior for o módulo, maior será a potência e/ou a corrente disponível. Ao unir-se a camada negativa de uma célula com a camada positiva da célula seguinte, os electrões fluem através dos condutores de uma célula para a outra, fluindo para o acumulador ou para a bateria quando chegam à última célula do módulo. Cada electrão que abandona a última célula do módulo é substituído por outro electrão que entra na primeira célula a partir do acumulador ou da bateria, através do cabo da interligação entre o módulo e a bateria, formando um inesgotável dispositivo fotovoltaico, produzindo energia eléctrica em resposta à energia luminosa que entra do mesmo.

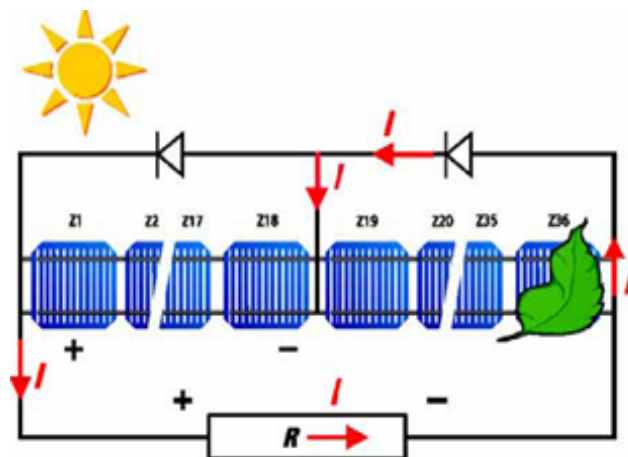


Figura 3.8 - Módulo fotovoltaico sombreado com diodos de derivação [13]

Encontram-se, geralmente, 3 tipos de painéis solares:

- Painéis de baixa voltagem / baixa potência feito de 3 até 12 pequenos segmentos de silício amorfo, com uma superfície total de alguns centímetros quadrados. A voltagem encontra-se entre 1.5 e 6 V, e a potência é de alguns miliwatts. O uso de este tipo de módulos é frequente em relógios, calculadoras...etc.
- Pequenos painéis de 1-10W e 3-12V. A utilização principal destes módulos é em rádios, jogos, pequenas bombas de água...etc.

- Grandes painéis a partir de 10W, com uma tensão de 6 ou 12V. A utilização principal é essencialmente em grandes bombas de água, para responder às necessidades de electricidade de caravanas (luz e refrigeração), e também em casas.



Figura 3.9 - Conjunto de módulos solares ligados [28]

3.5 - Efeito Fotovoltaico

A função de uma célula solar consiste em converter directamente a energia solar em electricidade, através do efeito fotovoltaico.

Quando a luz incide numa célula PV, parte dela é reflectida, parte é absorvida e a outra parte passa através da célula. A luz absorvida excita os electrões que se encontram no limite do estado de maior energia, fazendo-os electrões livres. Esses electrões livres movem-se na direcção imposta pelo campo eléctrico aplicado dentro do cristal, deixando lacunas que também se movem ao longo do cristal. Se nos terminais da célula PV tivermos um circuito, quando o fecharmos ele vai ser percorrido por uma corrente DC.

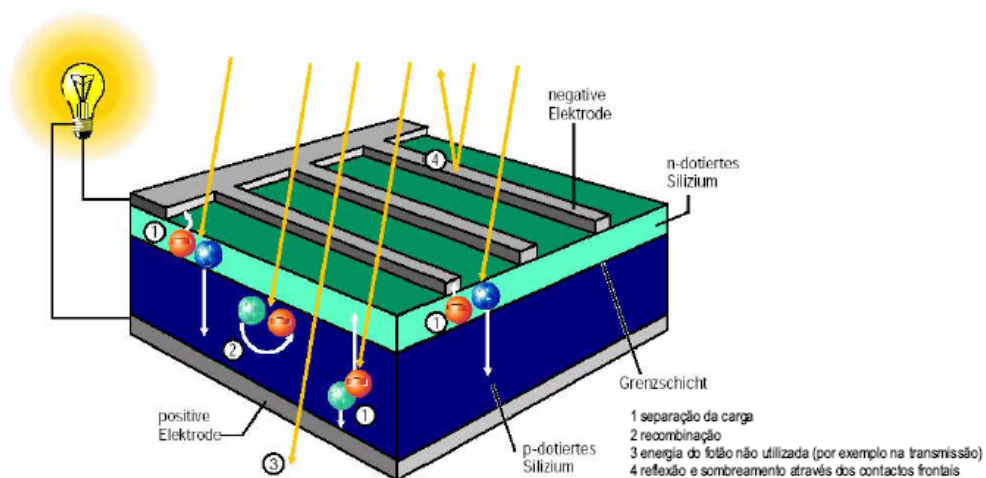


Figura 3.10 - Estrutura e função de uma célula cristalina solar [23]

Capítulo 4

Políticas de Desenvolvimento

Nos dias de hoje, com a crescente preocupação associada aos mercados energéticos, foram criados princípios básicos que orientam as políticas energéticas dos países desenvolvidos, a segurança do abastecimento energético com eficiência e equidade; a garantia de condições de qualidade e preço para suporte da competitividade da economia; e a minimização dos impactos sobre o ambiente em todas as fases e processos da cadeia de conversão energética. Esta última linha de estratégia recebe grande unanimidade a nível europeu, já que diz respeito à necessidade imperiosa de aumentar significativamente o desempenho ambiental dos sistemas energéticos, criar um desenvolvimento sustentável.

O Parlamento Europeu reforça a sua posição na área da energia, ao confirmar como prioridade absoluta a promoção de electricidade produzida a partir de fontes renováveis, e estabelecendo que os estados membros publiquem relatórios de cinco em cinco anos contendo as metas indicativas nacionais relativas ao consumo futuro da electricidade produzida a partir de fontes renováveis.

4.1 - Portugal

Também em Portugal, que se encontra fortemente dependente do petróleo nas fontes primárias de energia, possuindo uma elevada factura energética externa, além das restrições ambientais agravadas pelo uso ineficiente de energia de origem fóssil, se verificou uma mudança de atitude relativamente ao uso de energias renováveis. Foram criados programas com vista à melhoria da factura eléctrica nacional através da eficiência energética e do aproveitamento de energias renováveis [29].

Relativamente à produção de energia eléctrica com base em energias renováveis, o regime legal está estabelecido no decreto-lei 189/88 de 27 de Maio. Este regime determina que toda a energia produzida é obrigatoriamente adquirida pela distribuidora local de energia eléctrica, qualquer que seja a potência da instalação, excepto para aproveitamentos hidroeléctricos, cuja potência está limitada aos 10MW. Estabelece ainda os princípios e a metodologia de cálculo da tarifa de compra de energia eléctrica ao produtor pela rede pública reconhecendo a mais-valia ambiental das energias renováveis, relativamente aos combustíveis fósseis, para produção de energia eléctrica.

Embora esses princípios gerais se mantenham foi aprovado em 2001 um diploma (Decreto-Lei nº 339-C/2001 de 29 de Dezembro) que altera a fórmula do cálculo das tarifas pagas aos produtores em regime especial e novamente, em 2007, foi aprovado novo diploma (Decreto-Lei nº 225/2007 de 31 de Maio) onde se promove uma maior clarificação do enquadramento remuneratório de alguns vectores importantes de inovação [30].

No caso do aproveitamento da energia solar o elevado custo e o carácter de sazonalidade têm sido factores de retracção perante esta energia. E se o primeiro pode ser resolvido com a economia de escala, já o segundo factor depende da tecnologia conseguir resolver o grande problema energético, o armazenamento de energia eléctrica.

4.1.1 Remuneração da Produção em Regime Especial

Ao abrigo dos decretos de lei referidos anteriormente o cálculo do valor da remuneração pelo fornecimento de energia produzida em centrais renováveis é feito do seguinte modo:

$$VRD_m = \left\{ KMHO_m \cdot [PF(VRD)_m + PV(VRD)_m] + PA(VRD)_m \cdot Z \right\} \cdot \frac{IPC_{m-1}}{IPC_{ref}} \cdot \frac{1}{(1-LEV)} \quad (4.1)$$

- VRD_m - é a remuneração aplicável a centrais renováveis, no mês m ;
- $KMHO_m$ - é um coeficiente que modula os valores de $PF(VRD)_m$, de $PV(VRD)_m$ e de em função do posto horário em que a electricidade tenha sido fornecida;
- $PF(VRD)_m$ - é a parcela fixa da remuneração aplicável a centrais renováveis;
- $PV(VRD)_m$ - é a parcela variável da remuneração aplicável a centrais renováveis;
- $PA(VRD)_m$ - é a parcela ambiental da remuneração aplicável a centrais renováveis;
- IPC_{m-1} - é o índice de preços no consumidor, sem habitação, no continente;
- Z - é o coeficiente adimensional que traduz as características específicas do recurso endógeno e da tecnologia utilizada na instalação licenciada;
- IPC_{ref} - é o índice de preços no consumidor, sem habitação, no continente, referente ao mês anterior ao do início do fornecimento de electricidade à rede pela central renovável;

- LEV representa as perdas, nas redes de transporte e distribuição, evitadas pela central renovável.

4.1.1 - Coeficiente de modulação

$$KMHO_m = \frac{KMHO_{pc} ECR_{pc,m} + KMHO_v ECR_{v,m}}{ECR_m} \quad (4.2)$$

- $KMHO_{pc}$ é um factor que representa a modulação correspondente a horas de cheias e de ponta,
 - toma o valor de 1,15 para as centrais hídricas;
 - e o valor de 1,25 para as restantes instalações de produção licenciadas ao abrigo do Decreto-Lei nº 189/88, de 27 de Maio, e instalações de bombagem.
- $ECR_{pc,m}$ é a electricidade produzida pela central renovável nas horas cheias e de ponta do mês m , expressa em kWh;
- $KMHO_v$ é um factor que representa a modulação correspondente a horas de vazio, o qual,
 - toma o valor de 0,80 para as centrais hídricas;
 - e o valor de 0,65 para as restantes instalações de produção licenciadas ao abrigo do Decreto-Lei nº 189/88, de 27 de Maio; e instalações de bombagem.
- ECR_{vm} é a electricidade produzida pela central renovável nas horas de vazio (kWh);
- ECR_m - é a electricidade produzida pela central renovável (kWh);

Para as centrais renováveis que, no acto de licenciamento e nos termos do decreto nº 3, não tiverem optado pela modulação tarifária traduzida pelo coeficiente $KMHO_m$, este tomará o valor 1.

4.1.2 - Parcela Fixa

$$PF(VRD)_m = PF(U)_{ref} \cdot COEF_{pot,m} \cdot POT_{med,m} \quad (4.3)$$

- $PF(U)_{ref}$ - é o valor unitário de referência, deve corresponder à mensualização do custo unitário de investimento nos novos meios de produção cuja construção é evitada por uma central renovável que assegure o mesmo nível de garantia de potência que seria proporcionado por esses novos meios de produção, corresponde a 5,44€/mês (valor anual de 65,28€/kW);

- $COEF_{pot,m}$ é um coeficiente adimensional que traduz a contribuição da central renovável, no mês m , para a garantia de potência proporcionada pela rede pública;

$$COEF_{pot,m} = \frac{NHP_{ref,m}}{NHO_{ref,m}} = \frac{ECR_m/POT_{dec}}{0,80 \times 24 \times NDM_m} = \frac{ECR_m}{576 \times POT_{dec}} \quad (4.4)$$

- $NHP_{ref,m}$ é o número de horas que a central renovável funcionou à potência de referência no mês m , o qual é avaliado pelo quociente ECR_m/POT_{dec} ;
 - $NHO_{ref,m}$ é o número de horas que servem de referência para o cálculo, no mês m , de $COEF_{pot,m}$, o qual é avaliado pelo produto $0,80 \times 24 \times NDM_m$;
 - POT_{dec} é a potência da central, declarada pelo produtor no acto de licenciamento kW;
 - NDM_m = dias do mês, assumindo 30.
- $POT_{med,m}$ é a potência média disponibilizada pela central renovável à rede pública no mês m (kW).

$$POT_{med,m} = \min \left(POT_{dec}; \frac{ECR_m}{24 \times NDM_m} \right) \quad (4.5)$$

4.1.3 - Parcela Variável

$$PV(VRD)_m = PV(U)_{ref} \cdot ECR_m \quad (4.6)$$

- $PV(U)_{ref}$ - é o valor unitário de referência, Deve corresponder aos custos de operação e manutenção que seriam necessários à exploração dos novos meios de produção cuja construção é evitada pela central renovável, corresponde a 0,036€/kWh.

4.1.4 - Parcela Ambiental

$$PA(VRD)_m = ECE(U)_{ref} \cdot CCR_{ref} \cdot ECR_m \quad (4.7)$$

- $ECE(U)_{ref}$ - é o valor unitário de referência para as emissões de CO_2 evitadas, deve corresponder aos custos de operação e manutenção corresponder a uma valorização unitária do dióxido de carbono que seria emitido pelos novos meios de produção cuja construção é evitada pela central renovável, 2×10^{-5} €/g.

- CCR_{ref} é o montante unitário das emissões de CO_2 da central de referência, o qual toma o valor de 370 g/kWh e será utilizado, em cada central, durante todo o período em que a remuneração definida por VRD seja aplicável;
- $ECE(U)_{ref} * CCE_{ref}$ corresponde a 0,0074 €/kWh.

4.1.5 - LEV

LEV representa as perdas, nas redes de transporte e distribuição, evitadas pela central renovável.

- 0,015 no caso de centrais com potência maior ou igual a 5 MW
 - $1/(1-LEV)=1,015$;
- 0,035, no caso de centrais com potência menor que 5 MW.
 - $1/(1-LEV)=1,036$.

4.1.5 - Indicadores Económicos

- IPC_{m-1} - é o índice de preços no consumidor, sem habitação, no continente;
- IPC_{ref} - é o índice de preços no consumidor, sem habitação, no continente, referente ao mês anterior ao do início do fornecimento de electricidade à rede pela central renovável;
- IPC_{m-1}/IPC_{ref} - representa uma actualização relativamente ao início do fornecimento da central.

4.1.6 - Majoração Ambiental

Tabela 4.1- Valores de Z correspondente aos vários tipos de instalações

Tipo de PRE	Z
Central Eólica	4,6
Central Hídrica com POTdec até 10MW	4,5
Central Hídrica com POTdec 10MW até 30MW	$4,5-(Pot_{DEC}-10)*0,075$
Central Hídrica com POTdec maior que 30MW	A definir em Portaria
Instalações de Bombagem	0
Centrais FV c/ pot ≤5kW	52
Centrais FV c/ pot >5kW	35
Solar Termoelectrica c/ pot ≤10MW	29,3
Solar Termoelectrica c/ pot >10MW	Portaria (15 a 20)
FV e termoelectrica de microgeração (edifícios) c/ pot ≤5kW	55
FV e termoelectrica de microgeração (edifícios) c/ pot >5kW e <150kW	40
Biomassa Florestal residual	8,2
Biomassa Animal	7,5
Valorização resíduos por digestão anaeróbica, RSU, ETARs e Agrícolas	9,2
Centrais de valorização de Biogás gás de aterro	7,5
Valorização Energética da Queima (RSU indiferenciados)	1
Valorização Energética da Queima (Combustíveis derivados de resíduos)	3,8
Energia das ondas (< 4 MW até 20 MW nacional)	28,4
Energia das ondas (< 20 MW até 100 MW nacional)	Portaria (16 a 22)

4.2 - Espanha

Ao contrário da legislação portuguesa, em Espanha a tarifa de remuneração é bastante mais simplificada. Uma tarifa fixa anualmente actualizada, de acordo com os índices económicos, dá lugar à extensa e complexa equação aplicada no sistema português.

De momento a tarifa aplicada em Espanha é de 0,44€/kWh.

Capítulo 5

Bases de Dados

Uma base de dados é uma colecção de registos estruturados ou dados que são armazenados num sistema informático. Para que uma base de dados seja verdadeiramente funcional, não deve apenas armazenar grandes quantidades de registos, mas organizar a informação de forma a permitir uma fácil acessibilidade. Para além disso, novas informações deverão poder ser adicionadas sem dificuldade assim como mudanças na aplicação. De forma a ter um sistema de base de dados altamente eficiente, é necessário incorporar um programa para gerir as consultas e as informações armazenadas no sistema. Isto é normalmente referido como SGBD - Sistema de Gestão de Dados [31].

5.1 - Modelos de bases de dados

Diversos modelos foram e vêm sendo utilizados ao longo da história, com vantagens para um ou para outro por determinados períodos.

Historicamente, o modelo de base de dados em rede foi implementado primeiro, porém o primeiro produto comercial usava o modelo de base de dados hierárquico, que é nada mais que uma versão simplificada do primeiro. Ambos os modelos resultaram da tentativa de usar mais efectivamente os novos dispositivos de memória secundária de acesso directo, que substituíam os cartões perfurados e as fitas magnéticas. Isto aconteceu na década de 1960.

Em 1970 E.F. Codd propôs o modelo de base de dados relacional que surgiu e ganhou destaque teórico imediato. Porém, a implementação do modelo exigia pesquisas e só na

década de 1980 começaram a ganhar mercado, tendo-se então estabilizado totalmente como líder do mercado a partir da década de 1990.

O único modelo que foi extensamente tratado de forma teórica foi o modelo relacional. Os modelos pré-existentes foram fruto de implementações, enquanto os modelos subsequentes, como o modelo orientado a objectos, não apresentavam um campo tão rico para novas teorias, apresentavam sim, grandes desafios para a implementação eficiente das operações necessárias.

5.1.1 - Modelos Navegacionais

Nestes modelos, os dados são organizados em registos, que são colecções de itens de dados, que podem ser armazenados ou recuperados de uma base de dados de forma conjunta. É possível que um registo possua uma estrutura interna, e elementos contínuos podem ser agrupados, para formar outros grupos. Desta forma, um registo pode ter uma construção hierárquica. Os registos com a mesma estrutura formam um “tipo de registo”, que podem ser considerados equivalentes a uma tabela fora da primeira forma normal, ou ainda a um objecto complexo. Os tipos de registo possíveis numa base de dados são definidos no seu esquema.

A principal característica do modelo em redes é permitir a navegação entre os vários registos, por meio de Conjuntos de Dados, que possui um registo proprietário e registos membros, implementados por meio de apontadores. Basicamente, os registos equivalem a entidades e os conjuntos de dados equivalem à descrição dos relacionamentos. Como não há limite na topologia criada pelos registos e conjuntos, o modelo permite a criação de redes, de onde nasceu o nome.

Um subconjunto particular do modelo de rede, o modelo hierárquico, limita os relacionamentos a uma estrutura de árvore, ao contrário da estrutura aplicada pelo modelo de rede completo.

O modelo em redes foi definido formalmente em 1971, *pela Conference on Data Systems Languages (CODASYL)*, de onde ganhou o seu outro nome: modelo CODASYL.

5.1.2 - Modelo Relacional

O modelo relacional é uma teoria matemática desenvolvida por Edgar Frank Codd para descrever como as bases de dados devem funcionar. Embora esta teoria seja a base para o software de bases de dados relacionais, muito poucos sistemas de gestão de bases de dados seguem o modelo de forma restrita, e todos têm funcionalidades que violam a teoria, desta forma variando a complexidade e o poder. A discussão se essas bases de dados merecem ser chamadas de relacional ficou esgotada com o tempo, com a evolução das bases existentes.

De acordo com a arquitectura ANSI / SPARC, as bases de dados relacionais consistem em três componentes:

- uma colecção de estruturas de dados, formalmente chamada de relações, ou informalmente tabelas, compondo o nível conceptual;
- uma colecção dos operadores, a álgebra e o cálculo relacionais, que constituem a base da linguagem SQL;
- uma colecção de restrições da integridade, definindo o conjunto consistente de estados de base de dados e de alterações de estados. As restrições de integridade podem ser de quatro tipos:
 - domínio (ou tipo de dados);
 - atributo;
 - relvar (variável de relacionamento);
 - restrições de base de dados.

Ao contrário dos modelos navegacionais, não existem quaisquer apontadores, de acordo com o Princípio de Informação - toda a informação tem de ser representada como dados; qualquer tipo de atributo representa relações entre conjuntos de dados.

Ao contrário das bases de dados em rede, no modelo relacional os relacionamentos entre as tabelas não são codificados explicitamente na sua definição. Em vez disso, são feitos implicitamente pela presença de atributos chave. As bases de dados relacionais permitem aos utilizadores (incluindo programadores) escreverem consultas (queries), reorganizando e utilizando os dados de forma flexível e não necessariamente antecipada pelos projectistas originais. Esta flexibilidade é especialmente importante em bases de dados que podem ser utilizadas durante décadas, tornando as bases de dados relacionais muito populares no meio comercial.

Um dos pontos fortes do modelo relacional de base de dados é a possibilidade de definir um conjunto de restrições de integridade. Estas definem os conjuntos de estados e mudanças de estado consistentes da base de dados, determinando os valores que podem e os que não podem ser armazenados.

5.1.3 - Bases de Dados Orientados a Objectos

Na década de 90, o modelo baseado na orientação a objecto foi aplicado também às bases de dados, criando um novo modelo de programação conhecido como bases de dados orientados a objecto. Os objectos são valores definidos segundo classes, ou tipos de dados complexos, com os seus próprios operadores (métodos).

Com o passar do tempo, os sistemas gestores de bases de dados orientados a objecto e as bases de dados relacionais baseados na linguagem SQL aproximaram-se. Muitos sistemas orientados a objecto são implementados sobre bases de dados relacionais baseados em linguagem SQL.

O resultado comercial, porém, foi pequeno. Actualmente vários princípios de orientação a objecto foram adoptados pelas bases de dados relacionais, gerando o que pode ser chamado de base de dados relacional estendido.

5.1.4 - Bases de Dados Semi-Estruturados

Mais recentemente ainda, apareceram as bases de dados semi-estruturados, onde os dados são guardados e manipulados na forma de XML (ao contrário da forma de tabelas). Novamente, os produtores de bases de dados relacionais responderam estendendo as suas capacidades para tratar dados semi-estruturados.

5.2 - Aplicativo de Base de Dados

Um Aplicativo de base de dados é um tipo de software exclusivo para gerir uma base de dados. Abrangem uma vasta variedade de necessidades e objectivos, de pequenas ferramentas como uma agenda, até complexos sistemas empresariais para desempenhar tarefas como a contabilidade.

O termo "Aplicativo de Base de dados" usualmente refere-se a softwares que oferecem uma interface para a base de dados. O software que gere os dados é geralmente chamado de sistema gestor de base de dados (SGBD) ou "*database engine*".

Exemplos de aplicativos de bases de dados são Microsoft Visual FoxPro, Microsoft Access, *dBASE*, *FileMaker*, (em certa medida) *HyperCard*, *MySQL*, *PostgreSQL*, *Firebird*, *Microsoft SQL Server* e *Oracle*.

O aplicativo que decidi usar na criação da minha base de dados foi o Microsoft Access. O Microsoft Access, também conhecido por *MSAccess*, é um sistema relacional de administração de bases de dados da Microsoft, incluído no pacote do Microsoft Office Professional, que combina o *Microsoft Jet Database Engine* com uma interface de usuário gráfica (*graphical user interface*). Permite o desenvolvimento rápido de aplicações que envolvem tanto a modelação e estrutura de dados como também a interface a ser utilizada pelos usuários.

O Microsoft Access é capaz de usar dados guardados em *Access/Jet*, *Microsoft SQL Server*, *Oracle*, ou qualquer recipiente de dados compatível com ODBC.

O desenvolvimento da estrutura de dados dá-se de forma muito intuitiva, bastando que o programador possua conhecimentos básicos em modelação de dados e lógica de programação.

As partes integrantes de uma base de dados em Access são:

- Tabelas, são blocos de construção básicos do Access onde residem os dados;

- Formulários, criam uma moldura de trabalho para apresentar ou inserir dados numa ou mais tabelas;
- Consultas, localizam e recuperam dados de uma ou mais tabelas baseado em um ou mais critérios;
- Relatórios, são o modo de extrair dados de tabelas ou consultas podendo também apresentar resultados de cálculos com esses mesmos dados;
- Macros, são uma ou mais acções que podem ser utilizados para automatização de tarefas;
- Módulos, são funções e procedimentos programados utilizando a linguagem Visual Basic;

Capítulo 6

Aplicação em ACCESS para Gestão de Parques Fotovoltaicos

6.1 - Princípios básicos

Este capítulo dedica-se ao desenvolvimento da base de dados que foi solicitada pela Eurico Ferreira, S.A. O software permite a criação de registos e relatórios mensais do funcionamento do parque fotovoltaico da empresa, em fase inicial de projecto, situado em Aznalcóllar, Andalucía, com 1,5 MW de potência. É possível fazer registos da energia produzida no parque, do rendimento da instalação, da remuneração da energia produzida e também de alguns parâmetros associados às instalações fotovoltaicas como temperatura, irradiação e número de horas de sol diárias. Todos estes valores, de momento, serão registados manualmente na base de dados, a pedido do co-orientador na empresa. No entanto, será possível sem dificuldade, abrir uma porta de ligação com o sistema SCADA, de onde se obtêm todas as leituras referentes ao parque, de modo a fazer o registo automático na base de dados.

Em qualquer altura o utilizador poderá visualizar relatórios passados, através de uma interface intuitiva onde terá apenas de identificar a data e o parque a cujo relatório deseja aceder.

Como funcionalidade adicional, é possível visualizar gráficos que comparam todos os parâmetros referidos anteriormente, por ano, considerando que os registos são efectuados mensalmente.

Inicialmente o aplicativo teria apenas como objectivo servir de base de dados para o parque em construção, no entanto foi decidido que seria mais interessante criar um programa

que possibilitasse gerir toda a futura produção fotovoltaica da empresa, nacional ou internacional.

A aplicação estará guardada no servidor geral da empresa. Tendo um sistema de intranet ligado ao servidor, com variados níveis de permissão, qualquer utilizador terá apenas de se conectar a esse mesmo servidor, via web, para poder visualizar e trabalhar na aplicação. As permissões, para além do pedido de uma password ao iniciar a aplicação, serão definidas pela empresa.

Como já se disse anteriormente esta base de dados foi criada para o parque agora em fase de projecto mas poderá vir a ser aplicada a todos os parques que a Eurico ferreira, SA venha a possuir.

6.2 - Esquema de funcionamento da aplicação

6.2.1 - Interface Inicial

Sabendo que a aplicação é para uso empresarial, tentou-se torná-la ao mesmo tempo intuitiva e profissional. A interface inicial é de extrema simplicidade onde o utilizador terá apenas de seleccionar sobre que tipo de parque quer debruçar inicialmente a sua sessão.

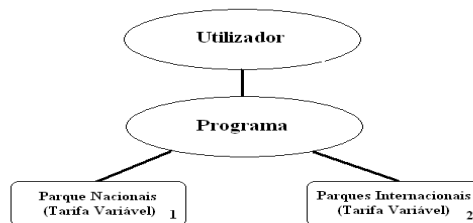


Figura 6.1 - Fluxograma inicial da aplicação



Figura 6.2 - Página inicial da aplicação

6.2.2 - Parques Nacionais

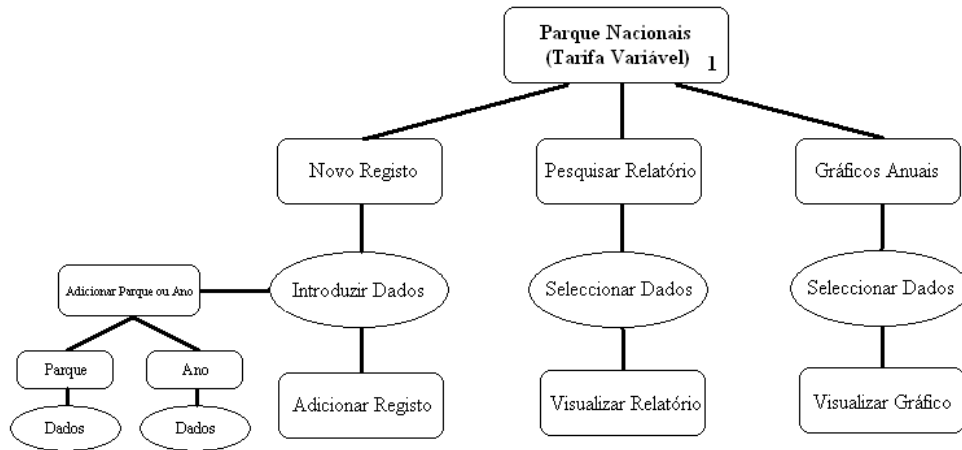


Figura 6.3 - Fluxograma para parques nacionais



Figura 6.4 - Página inicial (parques nacionais)

- **Novo Registo**

Neste formulário o utilizador terá de digitar os dados relativos ao parque, para de seguida, efectuar o registo. Inicialmente terá de escolher o parque, o mês e o ano que servirão de identificação do registo e de seguida todos os restantes parâmetros referentes ao parque.

Figura 6.5 - Página para preenchimento de novo registo (Parques Nacionais)

Particularidades:

- As caixas de combinação “Parque” e “Ano” estão directamente ligadas a duas tabelas de registo. Essas tabelas serão preenchidas sempre que o utilizador utilizar a opção “Adicionar parque ou novo ano de registos”. Sendo assim, terão apenas como opções os dados dessas tabelas que serão actualizadas automaticamente após a adição de um novo parque ou ano.

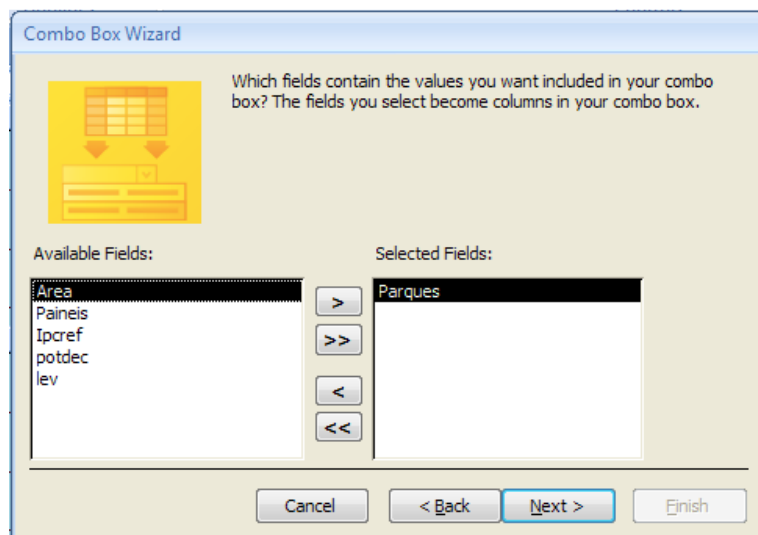


Figura 6.6 - Configuração da caixa de combinação “Parques”

- A caixa de combinação “Mês” teve os seus dados preenchidos manualmente já que serão sempre fixos, do mês de Janeiro até Dezembro.

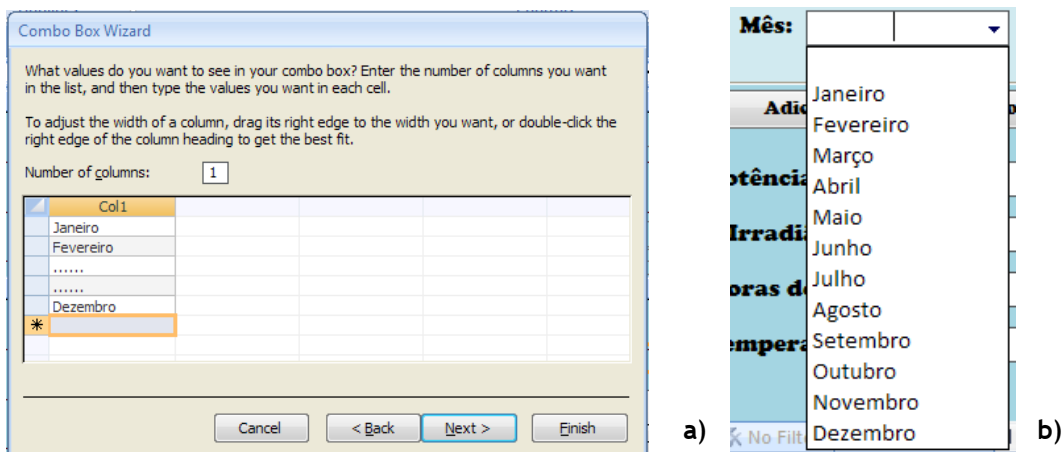


Figura 6.7 - a) Configuração de caixa de combinação "Mês"; b) Caixa de combinação "Mês"

- Apesar de inicialmente ter sido pedido um aplicativo ligado apenas ao parque fotovoltaico de Aznalcollar, procurou-se criar um programa Gestor de Parques Fotovoltaicos, que gerisse e armazenasse informação de qualquer parque que futuramente seja criado pela empresa, incluindo parques situados em Portugal abrangidos pela Remuneração de Produção em Regime Especial, ou seja, tarifa variável. Sendo assim, criou-se a opção de adicionar novos parques que futuramente a empresa possa construir e investir.

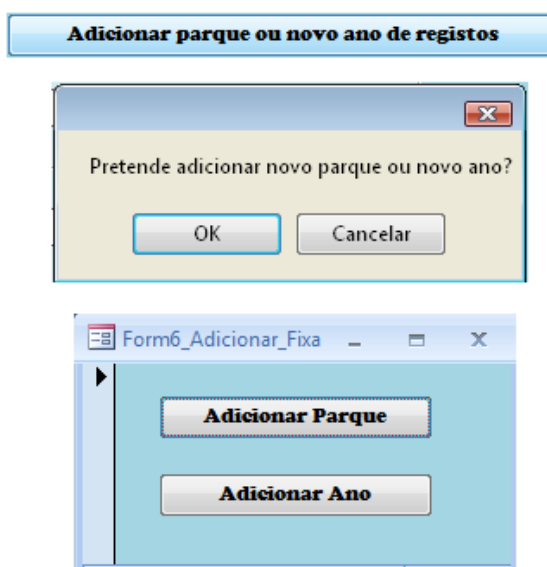


Figura 6.8 - Adicionar novo Parque ou Ano

- Se o utilizador escolher a opção “Adicionar Parque” irá aparecer o seguinte formulário, figura 6.9.

O utilizador terá de preencher todos os campos do formulário começando pelo nome do novo parque e alguns dados referentes ao mesmo. A área por painel e o número de painéis será necessário para calcular futuramente o rendimento mensal da instalação. A potência declarada e o índice IPCref são parâmetros necessários ao cálculo da remuneração e são característica de cada instalação.

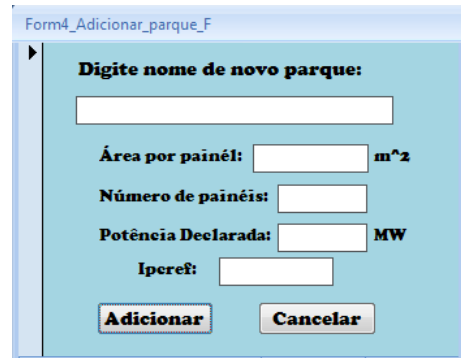


Figura 6.9 - Formulário para adicionar novo parque

Quando todos os dados estiverem preenchidos o utilizador seleccionará “Adicionar” e todos os dados serão enviados para uma tabela, tabela “NovoParque” onde ficarão registados. Será corrida uma pesquisa antes da adição que irá verificar se o parque a adicionar já está registado ou não. Também só será possível avançar com o registo quando todos os dados estiverem preenchidos ou o utilizador será confrontado com uma personalizada mensagem de erro.

- Se escolher a opção “Adicionar Ano” o seguinte formulário será aberto, figura 6.10

O utilizador terá de preencher a caixa com o novo ano de registos a adicionar. Também antes de efectuar o registo na tabela “NovoAno” será efectuada uma pesquisa pela mesma a verificar se o ano pretendido já se encontra registado.

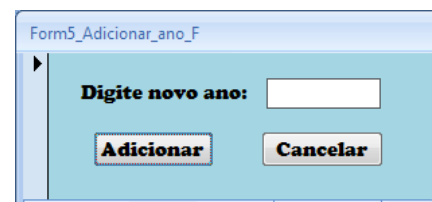


Figura 6.10 - Formulário para adicionar novo ano

- Quando todos os valores estiverem preenchidos o utilizador terá apenas de seleccionar “Criar Registo” para que todos os valores fiquem registados na base de dados para futuramente poderem ser acedidos.
- Criou-se uma opção de “Pré-Visualização” onde se dá a oportunidade ao utilizador de visualizar o relatório futuro antes mesmo de fazer o registo. O relatório visualizado é idêntico ao da funcionalidade “Pesquisar Relatórios” sendo que mais à frente se irá falar mais acertivamente acerca dele.

Como se trata de uma pré-visualização ao registo, na medida em que os valores ainda não se encontram registados na base de dados, este relatório, ao ser aberto, irá buscar todos os valores de que necessita para a sua construção ao formulário “Novo Registo” e também às tabelas “NovoParque” e “NovoAno” referidas anteriormente.

- Estão disponíveis no formulário dois botões “Voltar Atrás” e “Sair” criados para esse mesmo efeito. Ao seleccionar “Voltar Atrás” o aplicativo irá automaticamente voltar ao menu anterior, caso escolha “Sair” a seguinte mensagem de aviso, na figura 6.11, irá aparecer.

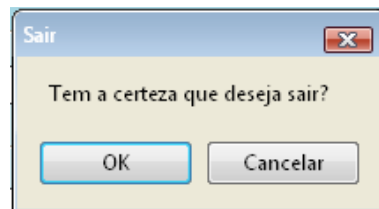


Figura 6.11 - Caixa de confirmação de saída da aplicação

Erros:

- Seria indicado, já que os registos serão distinguidos por estes três parâmetros, torná-los “chaves primárias” na tabela “Registos”, onde serão guardados. No entanto, de forma a personalizar a mensagem de erro, criou-se um query que fará a pesquisa destes três parâmetros, que se encontram no formulário de entrada de dados, na tabela “registo”. Caso encontre um registo compatível dará a seguinte mensagem de erro, figura 6.12, não efectuando o arquivo na tabela. Este teste será feito quando o utilizador seleccionar a opção “Adicionar Registo”.

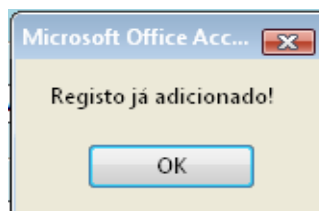


Figura 6.12 - Caixa de aviso de registo já anteriormente adicionado

- Criou-se uma rotina que, também ao seleccionar “Adicionar Registo” irá verificar se todos os campos “input” estarão devidamente preenchidos, caso contrário a seguinte mensagem de erro aparece, figura 6.13.

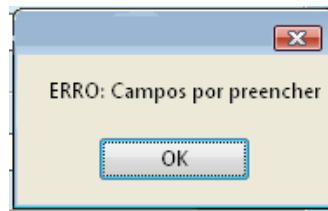


Figura 6.13 - Caixa de erro por campos a preencher

- O utilizador poderá escrever os dados que deseja directamente na caixa de combinação ao invés de os seleccionar da lista, no entanto, apenas serão aceites os dados correspondentes aos existentes nessa mesma lista, de outra forma o campo será apagado e a mensagem de erro da figura 6.14 aparece.

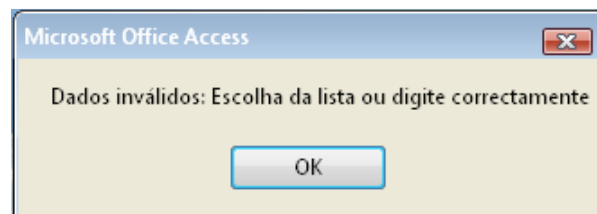


Figura 6.14 - Erro de dados inválidos

- Todas as caixas de texto onde apenas deverão ser digitados valores numéricos, incluindo na adição de parque e de ano, estão associadas a uma rotina que verificará se algum carácter não numérico é seleccionado. Caso seja aparecerá a seguinte mensagem de erro, figura 6.15.

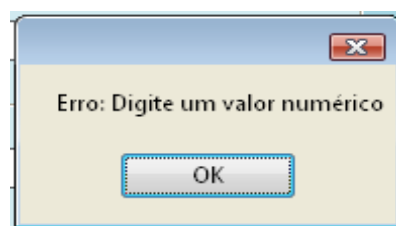


Figura 6.15 - Caixa de erro por digitar valor não numérico

● **Pesquisar Relatório**

Ao seleccionar a opção pesquisar relatório o formulário irá alterar-se para que possa seleccionar a qual registo específico deseja aceder.

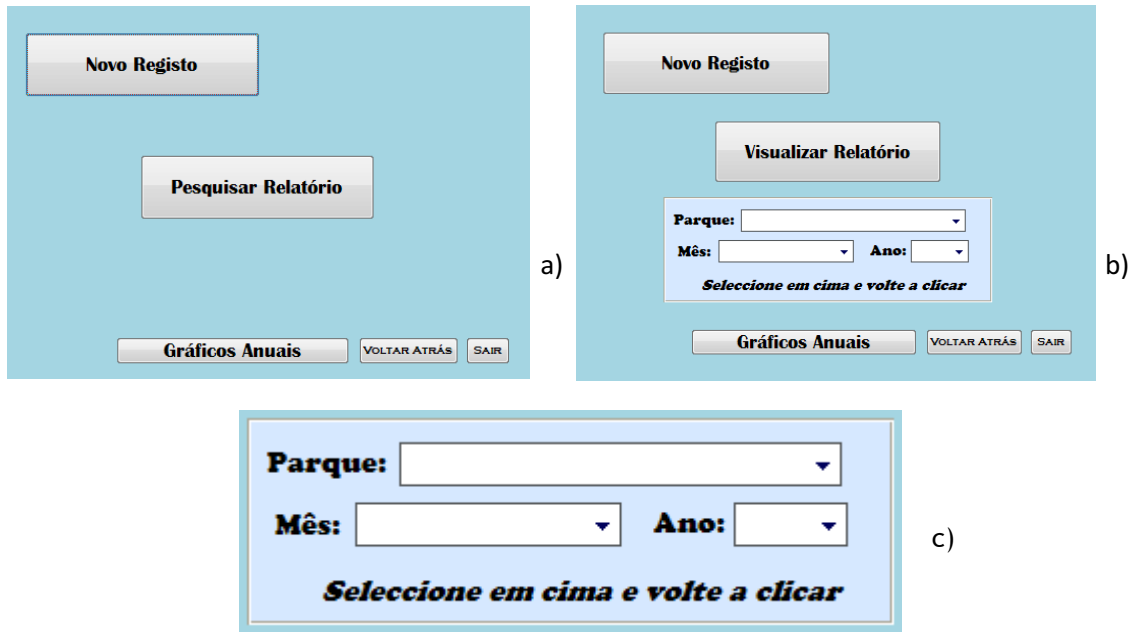


Figura 6.16 - a) Antes de seleccionar "Pesquisar Relatório"; b) Aparecimento caixa de parâmetros de pesquisa ao seleccionar "Visualizar Relatório"; c) Caixa de selecção de parâmetros de pesquisa

- Depois de escolher os dados para pesquisa o utilizador terá apenas de seleccionar o botão "Visualizar Relatório" para aceder ao relatório referente ao parque e data desejado.
- Tal como as caixas de combinação do formulário anteriormente falado, "Novo registo", também estas, para a pesquisa, estão ligadas às mesmas tabelas "NovoAno" e "NovoParque" e serão actualizadas à medida que novos parques ou anos vão sendo adicionados.

Erros:

- Também a este pequeno formulário associou-se uma rotina que verifica que todos os campos estão preenchidos, caso contrário a mensagem de erro da figura 6.13 aparece.
- Se os parâmetros escolhidos não corresponderem a um registo já adicionado então a seguinte mensagem de erro irá aparecer no monitor, figura 6.17.

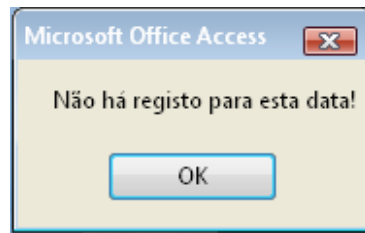


Figura 6.17 - Caixa de erro de registo não existente

- Como no formulário para registo, também estas caixas de combinação poderão ser preenchidas manualmente, mas apenas serão aceites dados correspondentes aos dados da lista dessa mesma caixa, de outra forma a mensagem da figura 6.18 aparece e o campo é apagado.

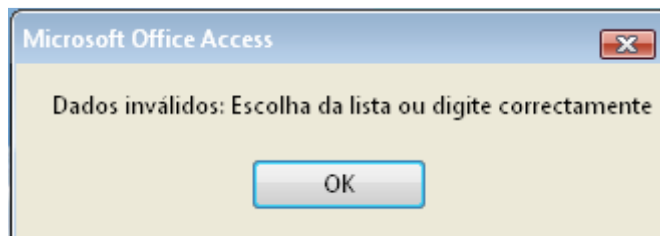



Figura 6.18 - Caixa de erro por dados inválidos

O formulário irá então aceder ao registo seleccionado procurando todos os valores e variáveis necessários às tabelas existentes. Este acesso, às tabelas, é feito através de queries que vão buscar à tabela "Registos" o registo correspondente à data e ao parque seleccionado e à tabela "NovoParque" o registo correspondente ao parque escolhido. De seguida, em Visual Basic, atribui-se a todos os campos do relatório, previamente formatado, os valores correspondentes nesses queries, incluindo algumas expressões de cálculo.

O formato do relatório de cada parque, situado em Portugal, encontra-se na figura 6.19 em baixo.



Nome da instalação

"Mês" de "Ano"

Parâmetros Gerais

Irradiação média: kWh/m2

Temperatura: C

Média horas de sol diárias:

Produção

Energia Produzida: kWh

Rendimento da instalação: %

Remuneração

Parcela Fixa PF(VRDm)

COEFpotm: PF(U): €/mês PF(VRDm):

POTdec: KW POTmed: KW

Parcela Variável PV(VRDm)

PV(U)ref: €/kWh PV(VRDm):

Parcela Ambiental PA(VRDm)

ECE(U)ref: €/g CO2ref: g/kWh z: PA(VRDm):

Perdas Evitadas na Rede e Indicadores Económicos

1/(1-LEV): IPCM-1: IPCMref:

Remuneração s/ IVA (Vrdm): €

Remuneração c/ IVA: €

Facturação = Potência Produzida x Tarifa

Rendimento:

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{irradiância} \cdot A_{painel} \cdot N^{\circ} \text{ painéis}}$$

Figura 6.19 - Formato de relatório de produção de um parque nacional

- **Gráficos Anuais**

Esta funcionalidade permite a comparação entre os vários meses do ano de vários parâmetros como se poderá observar na figura 6.20 b). Ao seleccionar a opção “Gráficos

Anuais” será aberto um novo formulário onde o utilizador terá de seleccionar qual o parâmetro que deseja visualizar, e relativo a que ano.

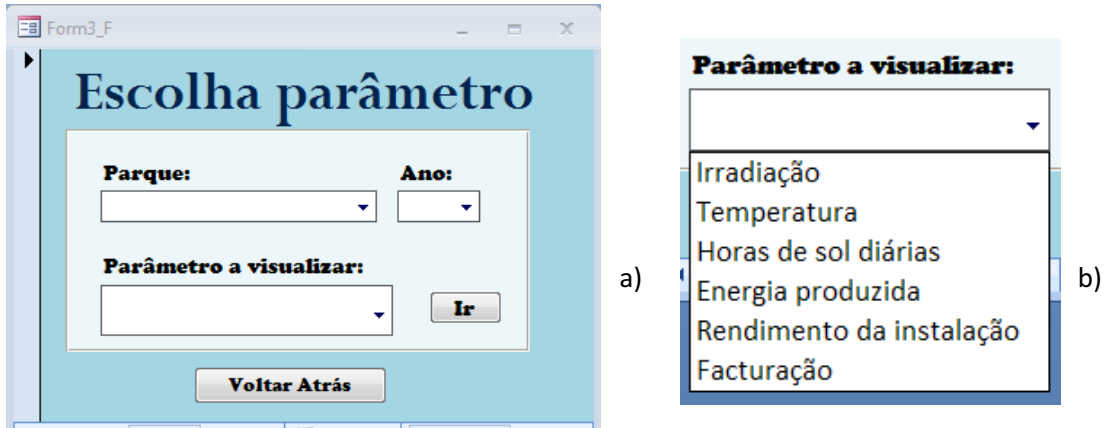


Figura 6.20 - a) Formulário para escolha de parâmetros de visualização de gráficos; b) Parâmetros disponíveis

Depois de toda a informação preenchida, ao carregar no botão “Ir”, será aberto o gráfico relativo a essa mesma informação. Em baixo nas figuras 6.21, 6.22, 6.23, 6.24, 6.25 e 6.26, pode-se visualizar exemplos dos vários gráficos disponíveis para o utilizador.

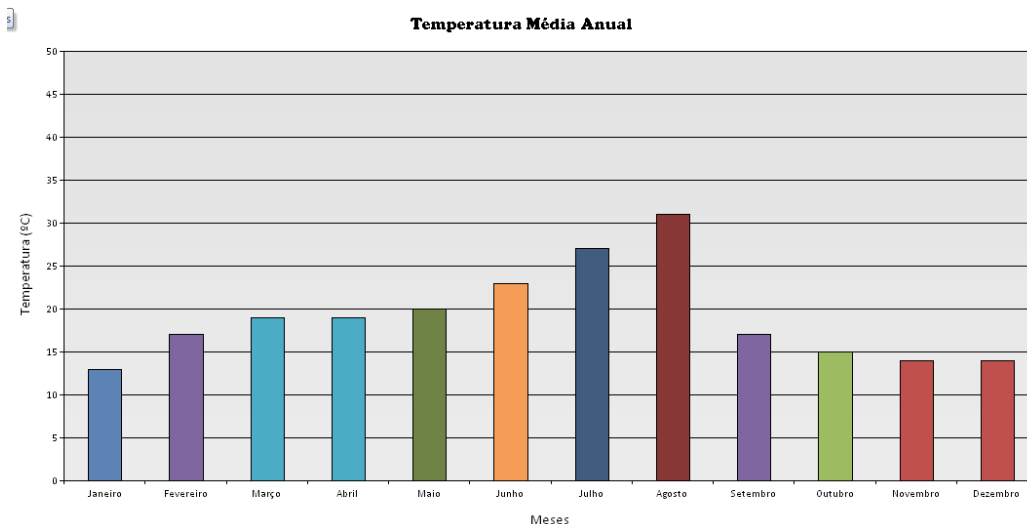


Figura 6.21 - Gráfico exemplificativo da Temperatura Média

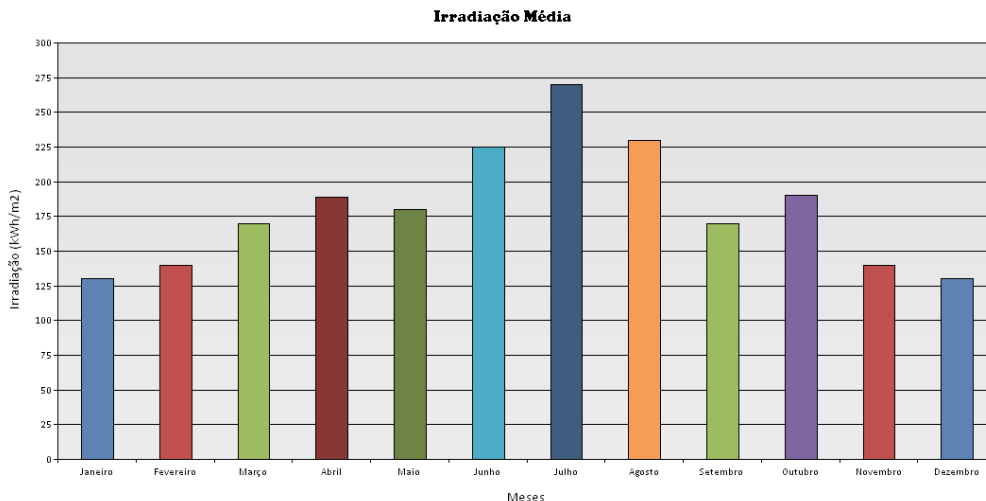


Figura 6.22 - Gráfico exemplificativo da Irradiação Média

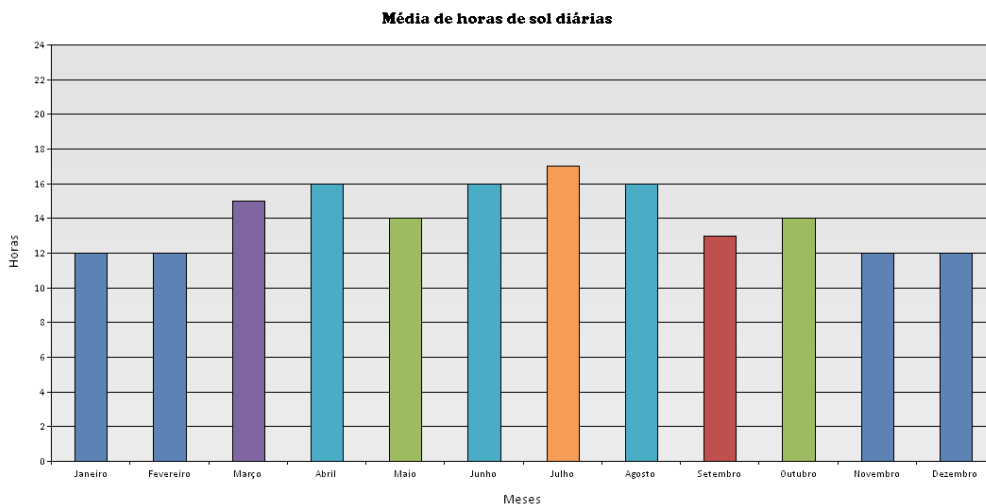


Figura 6.23 - Gráfico exemplificativo da Média de Horas de Sol

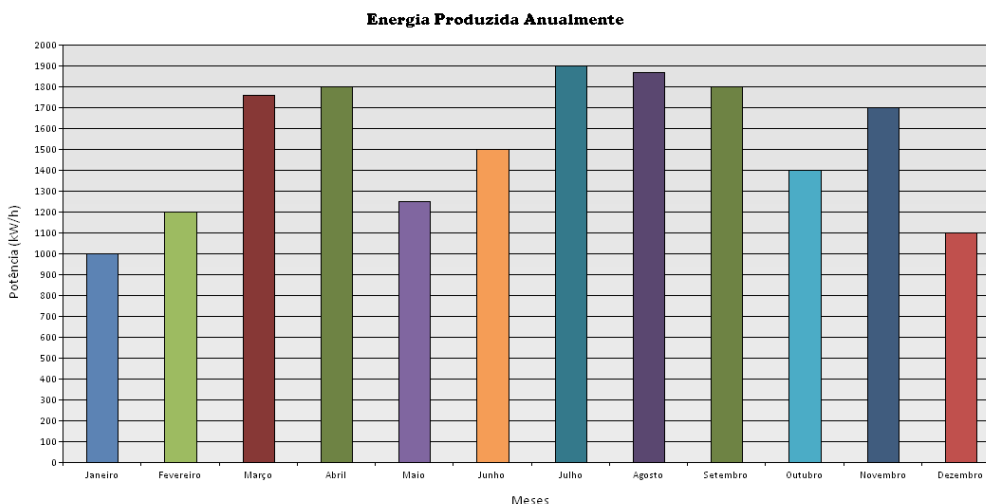


Figura 6.24 - Gráfico exemplificativo da Energia Produzida

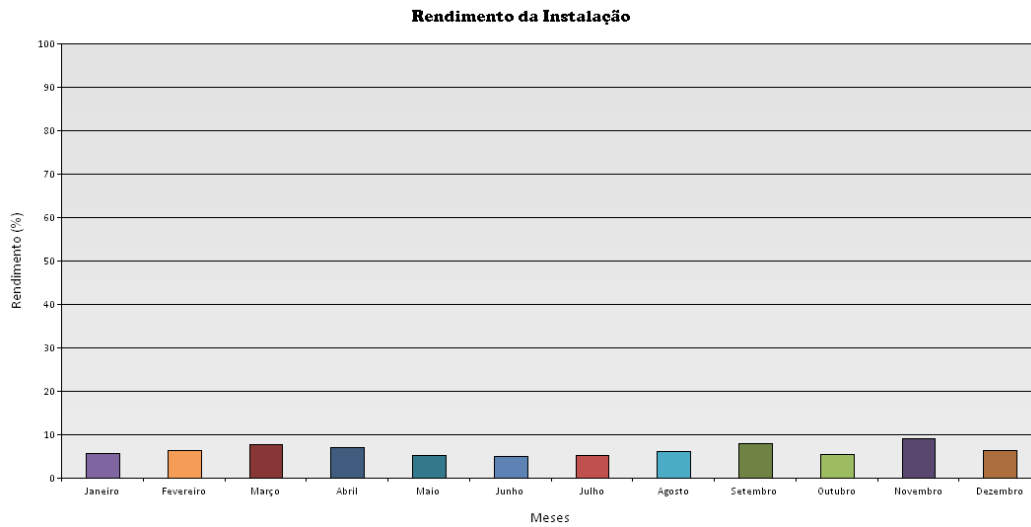


Figura 6.25 - Gráfico exemplificativo do Rendimento da Instalação

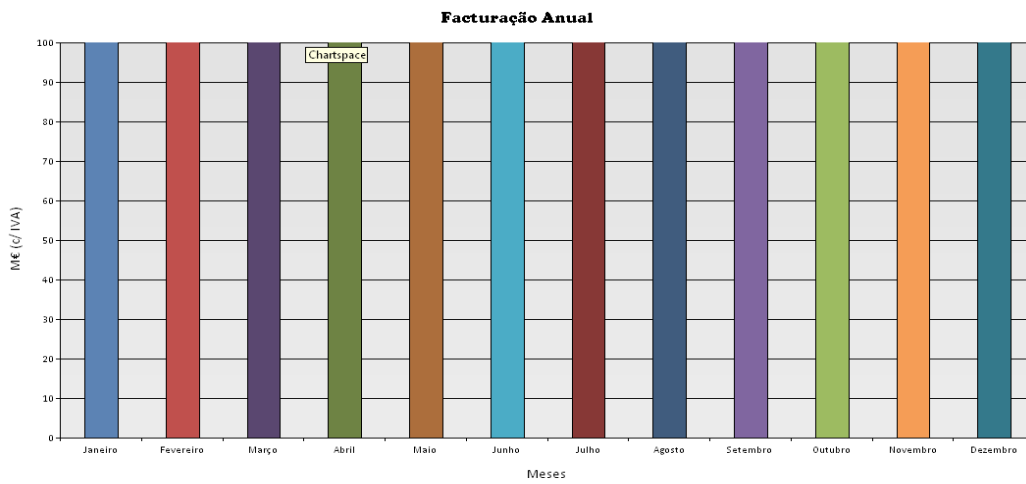


Figura 6.26 - Gráfico exemplificativo da Facturação

6.2.2 - Parques Internacionais

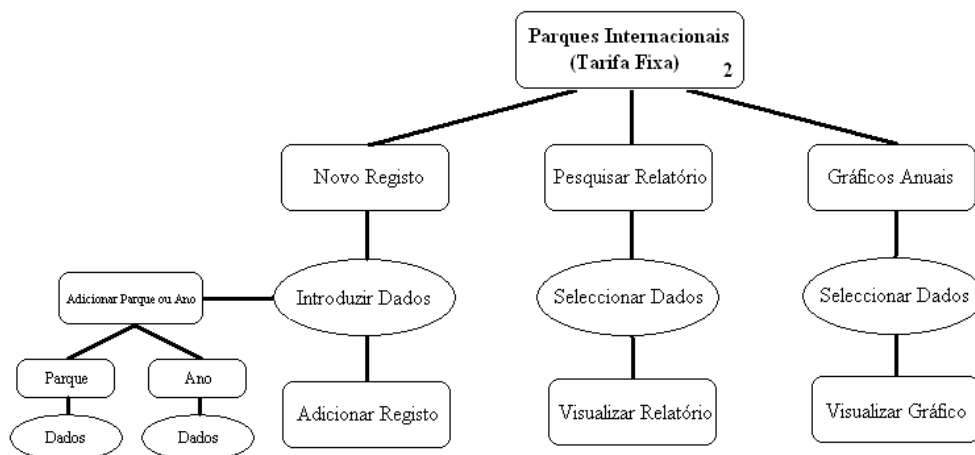


Figura 6.27 - Fluxograma para parques internacionais



Figura 6.28 - Página Inicial (Parques Internacionais)

- **Novo Registo**

Neste formulário o utilizador terá de digitar os dados relativos ao parque, para de seguida, efectuar o registo. Inicialmente terá de escolher o parque, o mês e o ano que servirão de identificação do registo e de seguida todos os restantes parâmetros referentes ao parque.



Figura 6.29 - Página para preenchimento de novo registo (Parques Nacionais)

Particularidades:

- Em concordância com o formulário apresentado anteriormente, para registo de parques internacionais, as caixas de combinação “Parque” e “Ano” estão também directamente ligadas a duas tabelas de registo que, por sua vez, são igualmente preenchidas ao adicionar novo parque ou ano.
- A caixa de combinação “Mês” teve também os seus dados preenchidos manualmente já que serão sempre fixos, do mês de Janeiro até Dezembro.
- Neste formulário foi criada uma caixa para o valor da tarifa, visto tratar-se de um valor fixo. A caixa de texto correspondente a esse mesmo valor guardará sempre o valor da sessão anterior. Caso seja necessário, é possível alterar o valor da tarifa através do botão “Alterar Tarifa”, como se pode observar na figura 6.30.

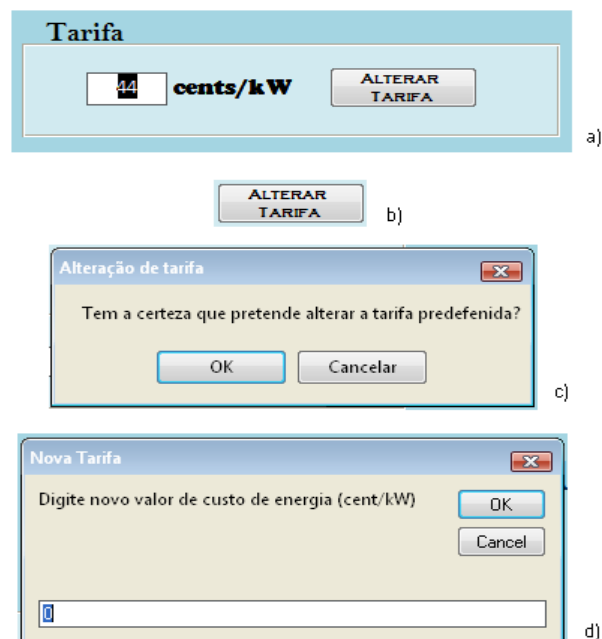


Figura 6.30 - a) Caixa de Tarifa; b) Botão para alterar tarifa; c) Caixa de confirmação; d) Caixa para digitar novo valor de tarifa;

De seguida surge na caixa da tarifa um botão de opção que dá a possibilidade, ao utilizador, de fixar a nova tarifa como valor predefinido da caixa, guardando-o para futuras sessões. De outra forma, não seleccionando o botão de opção, depois de fazer o registo, o valor da tarifa volta ao inicial, antes de se fazer a alteração.

- Depois de todas as caixas preenchidas o utilizador apenas terá de seleccionar “Criar Registo” para que este registo mensal seja carregado na base de dados. Poderá igualmente fazer uma pré-visualização do relatório para o registo que pretende adicionar seleccionando “Pré-Visualização”.
- No sector internacional também foi contemplada a possibilidade de futuros parques em que a empresa possa investir, possibilitando a adição dos mesmos, como se poderá verificar, na figura 6.31. Em relação ao formulário de parques nacionais, na adição de novos parques e ano, a diferença assenta apenas no formulário do novo parque, em que o valor da potência declarada e o índice económico IPC_{ref} deixam de ser necessários, visto que a tarifa de remuneração é fixa, e estes parâmetros não são necessários para o seu cálculo.


Figura 6.31 - Formulário para adicionar novo parque

Erros:

- Todos os erros de que se falou anteriormente na apresentação do formulário “Fazer registo” estão igualmente presentes neste formulário. Houve o cuidado de personalizar todos os possíveis erros e avisos em oposição aos erros e avisos predefinidos do Access.

● Pesquisar Relatório

O método para pesquisar um relatório é idêntico ao apresentado para os parques nacionais. Já o relatório, visto que se trata de remuneração a tarifa fixa, será relativamente diferente como se pode verificar na figura 6.32, em baixo.



Nome da instalação

"Mês" de "Ano"

Parâmetros Gerais

Irradiação média: kWh/m²

Temperatura: C

Média horas de sol diárias:

Produção

Energia Produzida: kWh

Rendimento da instalação: %

Remuneração

Tarifa: €/kWh

Facturação: €

Facturação = Potência Produzida x Tarifa

Rendimento:

$$\eta = \frac{P_{\text{máx}}}{P_{\text{irradiação}} \cdot A_{\text{painel}} \cdot N^{\circ}_{\text{painéis}}}$$

Figura 6.32 - Formato de relatório de produção de um parque internacional

- **Gráficos Anuais**

O método para visualizar os gráficos anuais referentes aos parques internacionais é idêntico ao que foi referido anteriormente para os parques nacionais.

Capítulo 7

Manutenção

Para Monchy a “manutenção é o conjunto de acções que permite manter ou restabelecer um bem, dentro de um estado específico ou uma medida para assegurar um serviço determinado”.

Segundo o *British Standard institution* “manutenção” é a “combinação de todas as acções técnicas e administrativas associadas, realizadas com a intenção de reter um elemento, ou trazê-lo de novo, ao estado no qual se realiza a acção requerida”

Manutenção define-se como a actividade que visa conservar ou repor um sistema num estado que lhe permita desempenhar de forma adequada as suas funções. Sendo assim o princípio básico do conceito “manutenção” será preservar algo.

Apesar de despercebida a manutenção sempre existiu, mesmo nos tempos mais antigos. No entanto, a palavra “manutenção”, surge apenas por volta do século XVI na Europa Central, aquando do aparecimento do relógio mecânico e conseqüente necessidade de montagem e reparação. Com a revolução industrial e essencialmente com a primeira grande guerra a manutenção começa-se a assumir como uma acção relevante e essencial. No entanto, tratava-se apenas de uma manutenção puramente correctiva que respondia prontamente às necessidades de reparação. Com o desenrolar da segunda grande guerra mundial e com a posterior reconstrução dos países envolvidos começa-se finalmente a dar a importância necessária ao conceito, assumindo agora a vertente preventiva, a indústria apoia-se fortemente na engenharia da manutenção fundamental ao seu desenvolvimento económico.

Sendo assim pode-se resumir o conceito de “manutenção” ao conjunto integrado de actividades que se desenvolve em todo o ciclo de vida de um equipamento, sistema ou

instalação e que visa manter ou repor a sua operacionalidade nas melhores condições de qualidade, custo e disponibilidade, com total segurança. Apesar de existirem vários tipos de manutenção, todas visam o mesmo objectivo, permitir que os equipamentos, sistemas ou instalações desempenhem correctamente as acções para as quais foram concebidos.

7.1 - Objectivos da Manutenção

As condições de operacionalidade de todos os equipamentos, sistemas e instalações, eléctricos, electrónicos, mecânicos, hidráulicos e pneumáticos, estão sujeitos a ver degradadas as suas condições de operacionalidade, com o decorrer do tempo, como consequência da sua utilização e possivelmente até por causas estranhas ao seu funcionamento. O papel da manutenção é portanto repor essa operacionalidade aos níveis pretendidos.

A manutenção, com vista a alcançar determinados objectivos, recorre a um diversificado conjunto de tarefas seleccionadas e programadas de acordo com as características e aplicação do seu objecto e os padrões de serviço que lhe foram fixados. Tais tarefas vão desde a limpeza, ensaio, reparação, lubrificação, controlo de condição, substituição de peças ou do próprio objecto (em caso de falha), inspecção, modificação, calibração, revisão geral entre outras.

Relativamente aos aspectos temporais, a tendência actual da acção da manutenção vai no sentido de desenvolver-se não apenas durante a fase de operação do objecto mas também ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a sua produção até à sua desactivação.

De acordo com a política global de uma empresa, a manutenção deve estar subordinada a objectivos bem definidos e coerentes. De facto, a acção da manutenção pode desenvolver-se segundo linhas de força divergentes, para as quais é essencial determinar a resultante que melhor serve os interesses do investimento:

- **Segurança:** a segurança das pessoas, dos equipamentos, da comunidade, de utentes é uma referência omnipresente e incondicional;
- **Qualidade:** procurar o melhor rendimento dos equipamentos, com o mínimo de defeitos de produção, as melhores condições de higiene e trabalho, o melhor tratamento do ambiente;
- **Custo:** soluções que minimizem os custos globais do produto considerando a par dos custos próprios de produção, os custos de manutenção ou então os custos provocados pela sua ausência.
- **Disponibilidade:** os equipamentos para operação devem estar activos o máximo de tempo possível, reduzindo ao mínimo as imobilizações programadas como as paragens por avaria, contribuindo assim para assegurar a regularidade da produção.

- Sendo assim podemos dizer que a manutenção faz-se essencialmente por três razões:
- Económicas: para obter o máximo de rendimento dos investimentos feitos em instalações, sistemas ou equipamentos, prolongando ao máximo a sua vida útil e mantendo-os em operação o máximo de tempo possível; Reduzir ao máximo os desperdícios, rejeições e reclamações de produtos; para evitar os atrasos ou interrupções na produção que possam causar embaraços e consequências na empresa; para reduzir os custos de consumos em energia e fluidos; para conseguir o melhor aproveitamento dos recursos humanos da empresa.
- Legais: a legislação obriga a prevenir situações que possam constituir factor de insegurança (risco de acidente, individual ou colectivo), de incómodo (ruído, fumos, cheiros), de poluição (emissões gasosas, descargas líquidas, resíduos sólidos), ou de insalubridade (temperatura, humidade).
- Sociais: os grupos sociais afectados pela operação dos equipamentos, sistemas ou instalações podem exercer pressões para que sejam reduzidos ou anulados os efeitos incómodos ou nocivos dessa operação. Mesmo que não haja uma imposição legal, a preservação da imagem da empresa pode justificar a adopção de medidas de manutenção adequadas.

7.2 - Manutenção em Sistemas de Energia

Os sistemas de energia fotovoltaica, sendo máquinas sofisticadas de valor muito elevado, necessitam de retribuir o investimento realizado, apresentando índices de fiabilidade e disponibilidade elevados. Sendo assim torna-se essencial o seu bom funcionamento e sua continuidade. Será esse o objectivo da análise do estado de condição dos equipamentos solares, melhorar o desempenho do equipamento. Operações de inspecção visual, verificação da actuação, limpeza, devem fazer com que a instalação ou equipamento mantenham as suas condições de funcionamento, prestação, protecção e duração dentro dos limites. A responsabilidade do sucesso da implementação de grandes unidades de aproveitamento fotovoltaico, passa em muito pela manutenção bem efectuada, credibilizando-a.

As instalações fotovoltaicas apesar de não necessitarem de grandes cuidados e atenção com a manutenção exigem uma série de tarefas a cumprir. É por isso que são sistemas ideais nos sítios em que é preciso autonomia de funcionamento.

A parte frontal dos módulos é constituída por um vidro temperado com 3 a 3,5 mm de espessura, o que os torna resistentes até ao granizo. Além disso, admitem qualquer tipo de variação climática.

Eles são auto-limpantes devido à própria inclinação que o módulo deve ter, de modo que a sujidade não se acumule.

De qualquer forma, nos lugares onde seja possível, será conveniente limpar a parte frontal dos módulos com água misturada com detergente.

Deve-se verificar periodicamente que o ângulo de inclinação obedece ao especificado e confirmar que não há projecção de sombras de objectos próximos em nenhum sector dos módulos entre as 9 e as 17 horas, pelo menos. Deve-se também verificar periodicamente se as ligações eléctricas estão bem ajustadas e sem sinais de oxidação.

São necessários também alguns cuidados para com as baterias. O lugar da instalação deve estar bem ventilado, deve verificar-se o nível do electrólito, deve utilizar-se sempre água destilada, devem lubrificar-se os bornes da bateria com vaselina ou massa consistente, não se devem utilizar diferentes tipos de baterias numa mesma instalação, devem colocar-se as baterias acima do nível do solo e deve verificar-se o nível de carga.

Para além destes cuidados referidos é necessário apenas ter alguma atenção ao estado da instalação, fazendo uma verificação anual.

Tabela 7.1 - Calendarização de manutenção para um sistema fotovoltaico [13]

	<i>Painéis</i>	<i>Baterias</i>	<i>Instalação</i>
<u>Diária</u>		Estado da carga	
<u>Mensal</u>	Limpeza Sombras	Nível do electrólito Estado dos bornes	Estado da iluminação
<u>Semestral</u>	Estanquidade	Recarga de baterias de reserva	
<u>Anual</u>	Estado do Painel		Aperto de contactos Estado da instalação

7.3 - Conceito ATR - Real time analysis

Os sistemas destinados ao aproveitamento de energia solar são frequentemente indicados por parte dos fabricantes, como sendo equipamentos de elevada fiabilidade, descorando por vezes procedimentos de manutenção em nome dessa mesma fiabilidade. Com vista a reduzir

problemas que possam ser causados por essa mesma falha aborda-se o conceito ATR, análise em tempo real.

Os circuitos de informação vêm dar uma contribuição preciosa à manutenção dos sistemas de energia solar. Permitem a análise em tempo real das condições de produção e compará-las com as do local onde se inserem. A avaliação dos desvios ocorridos nesses valores origina o envio de uma mensagem para o grupo de manutenção que avalia a situação, e de acordo com o problema verificado, decide a operação a realizar.

É um conceito cuja implementação é facilitada pela vulgarização da instrumentação actual. A sua adopção é justificada pela necessidade dos parques fotovoltaicos serem optimizados, reduzindo tempos não produtivos, função de avarias que só viriam a ser detectadas em posteriores inspecções, o que levaria a uma redução significativa do processo de geração de energia eléctrica. Em síntese, o ATR é a ferramenta de manutenção que optimiza a produção.

Apresento em seguida (fig. 1) o esquema ilustrativo do conceito ATR numa instalação fotovoltaica padrão ligada à rede.

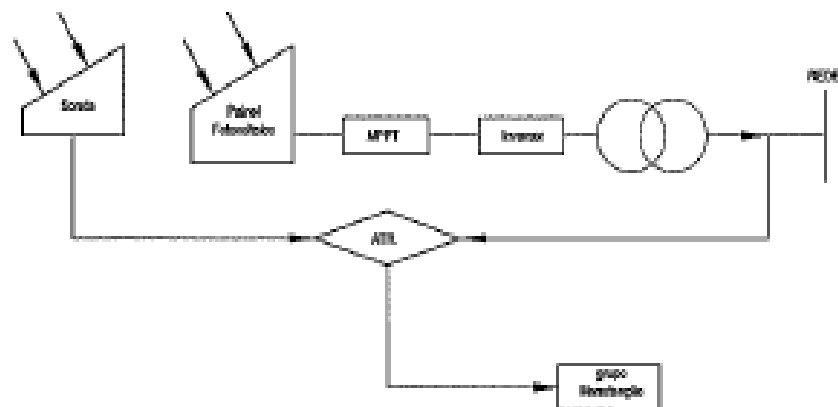


Figura 7.1 - Conceito de análise em tempo real nos sistemas fotovoltaicos

Capítulo 8

Conclusões

Tendo em conta os objectivos inicialmente propostos, nomeadamente a criação de uma base de dados para aplicação futura na área da produção fotovoltaica, em crescente desenvolvimento na empresa onde foi efectuado o projecto, e também o estudo profundo de todo o processo de manutenção associado aos parques fotovoltaicos, obteve-se um significativo incremento no conhecimento relativo a essa tecnologia.

Aliado a este facto, a integração num ambiente empresarial foi uma experiência bastante positiva que permitiu, com certeza, um conhecimento técnico e profissional pouco provável de adquirir na faculdade.

A base de dados foi criada numa lógica de fácil utilização e adaptação a novas necessidades, permitindo que possa ser utilizada como ferramenta de gestão para todos os futuros investimentos por parte da Empresa na área fotovoltaica, assegurando essencialmente os mercados nacional e espanhol.

Concluindo, a aplicação criada, tem como função primordial permitir o acesso rápido e eficiente a todos os registos ao nível da produção e da facturação associados a parques fotovoltaicos.

Os aspectos relacionados com a manutenção, não têm tido a merecida atenção nas instalações de aproveitamento solar. É necessária a implementação de uma manutenção programada e preventiva, ajustada aos sistemas, que garantam o seu bom funcionamento e à sua continuidade, factores importantes para melhorar o seu rendimento e aumentar a rentabilidade dos investimentos realizados.

Este trabalho apresenta um resumo das principais características da utilização energética da radiação solar e da sua transformação fotovoltaica. Assim, poderá ser utilizado como um manual de referência para quem queira iniciar estudos nesta área.

A problemática da energia, assim como dos seus impactes ambientais, foi abordada de forma sucinta e por inerência, a descentralização da produção de energia, o aproveitamento de recursos endógenos e a sua utilização racional.

Referências

- [1] In Infopédia [Online]. Porto: Porto Editora, 2003-2008.
- [2] Programa Nacional para as Alterações Climáticas; versão 2001; Comissão para as Alterações Climáticas.
- [3] Relatório do Estado do Ambiente; 1999.
- [4] Monteiro, João; Aplicações de Energia Solar em Meio Urbano.
- [5] Duffie J. A.; Beckman W. A.; Solar Engineering of Thermal Processes; New York: John Wiley Sons; 1991.
- [6] <http://www.geocities.com/Paris/Lights/5862/mecanicaf.html>; Mecânica Celeste.
- [7] Nova Enciclopédia Larrouse; Círculo de Leitores; 1994.
- [8] <http://www.pv.unsw.edu.au>
- [9] <http://www.astrosoft.mocho.pt/mirror/np/np-p/sol.html>.
- [10] Maciel W. J.; Astronomia e Astrofísica; São Paulo, Brasil; 1991.
- [11] <http://www.cdcc.sc.usp.br/cda/aprendendo-basico/sistema-solar/sol.html>
- [12] Ashrae - American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers; SI edition; 1999
- [13] Cláudio Monteiro; Apontamentos da cadeira Energia Eólica e Solar.
- [14] http://pt.wikipedia.org/wiki/Radia%C3%A7%C3%A3o_solar
- [15] http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy
- [16] <http://www.energiasrenovaveis.com>
- [17] Gonçalves, Hélder; Joyce, António; Silva, Luís; Fórum Energias Renováveis em Portugal; Uma Contribuição para os Objectivos de Política Energética e Ambiental; ADENE: INETI; 2002.
- [18] Entidade Reguladora do Sector Eléctrico; Estudo Sobre Sector Eléctrico e Ambiente 1º Relatório Impactos Ambientais do Sector Eléctrico; 2000.
- [19] Agência Internacional de Energia; <http://www.iea.org/>.
- [20] <http://www.reslab.com.au/resfiles/pv>.

- [21] <http://www.cienciaviva.pt/docs/celulafotovoltaica.pdf>.
- [22] Barlow R., Derrick A. And Gregory J. A.; The World PV Market: 1993 Status Report and Future Prospects; Amsterdam - The Netherlands; 1994.
- [23] Energia Fotovoltaica - Manual sobre Tecnologias, Projecto e Instalação; 2004.
- [24] Castro, Rui M. G.; Energias Renováveis e Produção Descentralizada, Introdução à Energia Fotovoltaica; 2002.
- [25] National Renewable Energy Laboratory; <http://www.nrel.gov/>.
- [26] <http://engenworks.blogspot.com>
- [27] <http://www.actewagl.com.au>
- [28] <http://www.biblelife.org>
- [29] <http://Energia Portugal 2001; Direcção Geral de Energia e Ministério da Economia; 2002>
- [30] Decreto-Lei nº 225/2007 de 31 de Maio
- [31] <http://www.tech-faq.com/lang/pt/database.shtml>