



**Universidade Eduardo Mondlane**

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**Ramo: Termotecnia**

**ENERGIAS RENOVÁVEIS**

**TEMA:**

**ESTUDO PRELIMINAR DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO  
DE ILUMINAÇÃO DE UMA ESCOLA INDUSTRIAL EM CATEMBE**

**ESTUDANTE: Mavume, Cláudio Carlos**

**DOCENTES: Prof. Doutor Boaventura Chongo Cuamba  
Eng. Garrine Freilas**

**Maputo, Junho de 2006**

## ÍNDICE

Índice de figuras.....	1
Índice de tabelas.....	2
Lista de símbolos.....	3
Lista de abreviaturas.....	4
<b>1. Princípios de energias renováveis.....</b>	<b>5</b>
Conceito de energia.....	5
Classificação das energias renováveis.....	6
Princípios científicos das energias renováveis.....	8
Princípios Sociais das energias renováveis.....	8
Objectivo do estudo.....	9
Referência Bibliográfica.....	10
<b>2. Estado energético actual em Moçambique.....</b>	<b>11</b>
Referência Bibliográfica.....	13
<b>3. Radiação Solar.....</b>	<b>15</b>
Radiação solar foto térmica.....	16
Arquitectura bio climática.....	17
Radiação solar ao nível do solo.....	17
Solanimetria e instrumentos de captação e conversão.....	18
Instrumentos de medição e captação da radiação solar.....	18
Referência Bibliográfica.....	21
<b>4. Energia solar foto voltaica.....</b>	<b>22</b>
Rendimento de um painel foto voltaico.....	23
Mecanismo de conversão de energia solar em eléctrica.....	23
Aspectos tecnológicos de sistemas foto voltaicos.....	23
Tipos de sistemas foto voltaicos.....	24
Aspectos económicos dos sistemas foto voltaicos.....	24
Tipos de células foto voltaicas.....	25
Módulos foto voltaicos.....	27
Características eléctricas dos módulos foto voltaicos.....	29
Factores que afectam as características eléctricas dos módulos.....	30
Componentes de um sistema foto voltaico.....	30

Acumuladores de energia ( baterias).....	31
Cálculo dos parâmetros foto voltaicos.....	32
Conclusão.....	41
Referência Bibliográfica.....	41
<b>5. Energia eólica.....</b>	<b>42</b>
Turbinas de captação de vento.....	42
Turbinas horizontais.....	42
Turbinas verticais.....	43
Impactos ambientais das turbinas eólicas.....	43
Algumas aplicações das turbinas eólicas.....	44
Densidade eólica.....	44
Cálculo dos parâmetros eólicos.....	44
Conclusão.....	52
Referência Bibliográfica.....	53
<b>6. Conclusão.....</b>	<b>54</b>
<b>7. Recomendações.....</b>	<b>55</b>
<b>8. Referência bibliográfica.....</b>	<b>56</b>

**ÍNDICE DE FIGURAS****Radiação solar**

Componentes da radiação (figura 3.1).....	17
Piranometro de segunda classe (figura 3.2).....	19
Pireliometro de cavidade absoluta (figura 3.4).....	20
Pireliometro de incidencia normal (figura 3.5).....	20
Heliógrafo (figura 3.6).....	20

**Sistema foto voltaico**

Célula de silicio mono cristalino (figura 4.1).....	25
Célula de Silicio poli cristalino (figura 4.2).....	26
Conexão de células em paralelo ( figura 4.3).....	28
Conexão de células em série ( figura 4.4).....	28
Ligação de células com diodo bypass ( figura 4.5).....	29
Diodo de bloqueio (figura 4.6).....	29
Módulos foto voltaicos ( figura 4.7).....	29
Curva característica de corrente e tensão (figura 4.8).....	30
Configuração básica de um sistema fotovoltaico ( figura 4.9).....	31
Diagrama de carga ( Figura 4.10 ).....	35

**Sistema eólico**

Turbina eólica horizontal (figura 5.1).....	42
Configurações das pás de turbinas horizontais ( figura 5.2).....	43
Turbina eólica vertical ( figura 5.3).....	43

**ÍNDICE DE TABELAS**

Tabela 4. 1 Valores do consumo energético de iluminação da escola em questão.....	34
Tabela 4. 1b Número de dias de autonomia mensal.....	34
Tabela 4.2 Características dos painéis pré-selecionados.....	35
Tabela 4.3 Valores de insolação trimestral média do local.....	35
Tabela 4.4 Características técnicas do painel foto voltaico.....	36
Tabela 4.5 Disponibilidade energética diária.....	36
Tabela 4.6 Corrente fornecida pelos painéis.....	36
Tabela 4.7 Número de painéis necessários pela potencia e pela energia.....	37
Tabela 4.8 Corrente necessária mensal para o consumo.....	37
Tabela 4.9 Número de painéis a acrescentar para o carregamento das baterias.....	38
Tabela 4. 10 Número total de painéis foto voltaicos.....	38
Tabela 4. 11 Número de baterias necessárias para a reserva de corrente.....	39
Tabela 4.12 Tempo de carregamento das baterias.....	39
Tabela 4.13 Saldo de energia e de potencia mensal.....	39
<b>Sistema eólico</b>	
Tabela 5. 1 Coeficiente de rugosidade.....	47
Tabela 5.2 variação do Coeficiente de Rayleigh com a velocidade do vento.....	47
Tabela 5.3 Parâmetros eólicos do local.....	48
Tabela 5.4 Densidade eólica e velocidade do vento.....	49
Tabela 5.5 Características da turbina pre-selecionada.....	50
Tabela 5.6 Velocidade do vento e Densidade eólica na altura de instalação.....	50
Tabela 5.7 Valores da potência e da energia fornecida pela turbina.....	50
Tabela 5.8 Saldo de potência e de energia.....	51
Tabela 5.9 Número de baterias necessárias .....	51

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $d$  - diâmetro do rotor da turbina [m]
- $f_R$  - Total de perdas nas baterias [%]
- $h_1$  - altura de medição dos parâmetros eólicos [m]
- $h_2$  - altura de instalação da turbina [m]
- $I_{PV}$  - Corrente no painel foto voltaico [Ah]
- $I_{necess}$  - Corrente necessária [Ah]
- $I_{necess}^{total}$  - Corrente total necessária [Ah/dia]
- $L_{PV}$  - Largura do painel foto voltaico [mm]
- $l_{PV}$  - Comprimento do painel foto voltaico [mm]
- $V$  - Velocidade do vento [m/s]
- $W_{eólica}$  - Potencia eólica [W]
- $\eta$  - Eficiência da turbina [%]
- $\rho$  - Densidade do ar nas condições normais [ $\text{kg/m}^3$ ]

## LISTA DE ABREVIATURAS

- $A_{tot}$  - Area total [m<sup>2</sup>]
- $A$  - Area [m<sup>2</sup>]
- $C_{kly}$  -coeficiente de Rayleigh
- $DE_1$  - Densidade eólica do ar medido da altura de instalação [W/m<sup>2</sup>]
- $DE_2$ -Densidade eólica do ar medido da altura de instalação [W/m<sup>2</sup>]
- $E_{FV}$  - Disponibilidade energética dos painéis foto voltaicos [Wh/dia]
- $E_{necess}$  - Necessidade energética [Wh/dia]
- $n$  - Número de dias de autonomia
- $n_{FV}$  - Número total de painéis foto voltaicos
- $N$  - Número de dias de meses
- $P_{FV}$  - Potência disponível em cada painel foto voltaico [W]
- $P_{necess}$  - Potência necessária para o consumo [W]
- $P_{real}$  - Potência real da turbina [W]
- $P_{max}$  - Potência máxima da turbina [W]
- $T_{psc}$  - Insolação diária da região [Wh/m<sup>2</sup>]
- $V_{max}$  - velocidade máxima da turbina a potência máxima
- $V_{bat}$  - Voltagem da bateria [V]
- $\Delta E$  - Saldo energético [Wh]
- $\Delta P$  - Saldo de potência [W]
- $V_{FV}$  - Voltagem do painel [V]

As designações ( Jan, Fev, Marc, Abr, Mai, Jun, Jul, Ago, Set, Out, Nov, Des)-Referem-se aos meses do ano.

# 1. PRINCÍPIOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

## 1.1 INTRODUÇÃO

### 1.1.1. CONCEITO DE ENERGIA

O termo energia representa um conceito introduzido no século XIX para permitir uma abordagem científica unificada de vários fenômenos relacionados, envolvendo trabalho, calor e temperatura [1]. A energia é uma propriedade da matéria, e pode apresentar-se de diversas formas através das transformações governadas pela lei de conservação da energia, segundo a qual a energia pode ser convertida de uma forma para outra porém não pode ser criada nem destruída.

Uma das principais consequências da lei da conservação de energia é o teorema de trabalho-energia, afirmando que a diferença ou a variação de energias de um sistema entre dois estados diferentes é igual ao trabalho realizado pelo sistema entre esses dois estados [1]. Portanto, a energia é também definida como sendo a capacidade que um sistema tem de realizar trabalho. Portanto, a realização de uma trabalho pressupõe o consumo de uma determinada energia o que leva a considerar que o trabalho se realiza transmitindo energia de um lugar para outro.

Esta propriedade da energia poder ser utilizada para a realização de trabalho confere-lhe um atributo sócio-econômico, na medida em que ela pode ser usada para a produção de bens e serviços. Destas considerações deriva a propriedade de recurso que é atribuída à energia. Diz-se, por exemplo, que o carvão é um recurso energético, significando isso que este mineral possui uma propriedade que pode ser convertida de uma forma noutra, através da combustão, e com isso ser usado na realização de trabalho, ou seja na produção de bens e serviços [1].

## 1) TIPOS DE ENERGIAS

Existem na natureza diferentes fontes de energia que podem ser utilizadas de diferentes formas e processos na vida humana.

As fontes de energia subdividem-se em duas classes: energias renováveis e energias não renováveis [2].

### 1. ENERGIAS RENOVÁVEIS

Este tipo de energias permite um desenvolvimento mais sustentável e são menos poluentes relativamente as fósseis. Algumas formas de energias renováveis são: Energia solar, energia eólica (cinética do vento), bio massa (lenha, resíduos florestais, hidro energia (massas de águas dos rios fluindo para os oceanos) [3]

As energias renováveis são provenientes de ciclos naturais de conversão da radiação solar, que é a fonte primária de quase toda energia disponível na terra. Por isso, são praticamente inesgotáveis e não alteram o balanço térmico do planeta [2].

As energias renováveis podem também ser definidas como sendo todas as formas de energia para as quais a fonte é "recarregáveis" por processos naturais [4].

### 2 - ENERGIAS NÃO RENOVÁVEIS

Energias não renováveis são aquelas cuja fonte não é renovável quer a curto, médio ou longo prazo. São exemplos de energias não renováveis as seguintes a energia proveniente de combustíveis fósseis, as energias eléctrica e nuclear [2].

## 1.2 CLASSIFICAÇÃO DAS ENERGIAS RENOVÁVEIS

As formas mais comuns de energias renováveis são: energia solar, a energia eólica, a biomassa a hidroenergia e a energia geotérmica.

### 1.2.1 Energia Solar

A energia solar é a energia irradiada pelo sol. o termo "Energia Solar" é utilizado para expressar as formas de aproveitamento da radiação solar directa. A energia da radiação solar directa, pode ser aproveitada de diversas formas através de diversos tipos de conversão,

permitindo seu uso em aplicações térmicas em geral, obtenção de força motriz diversa, obtenção de electricidade e de energia química [4]. Esta forma de energia é a fonte primária de quase toda energia disponível na terra.

### **1.2.2 Energia Eólica**

A energia eólica é a energia cinética dos deslocamentos de massas de ar, gerados pelas diferenças de temperatura na superfície do planeta. Sendo resultado da associação da radiação solar incidente no planeta com o movimento de rotação da terra, fenômenos naturais que se repetem, é considerada energia renovável. Além da radiação solar também têm participação na sua formação fenômenos geofísicos como: rotação da terra e marés atmosféricas [4].

Alguns exemplos de aproveitamento deste tipo de energia são os cata-ventos e embarcações a vela, utilização no processo de bombagem de água, e mais formas bastante antigas de seu aproveitamento.

### **1.2.3 Biomassa**

A energia química, produzida pelas plantas na forma de hidratos de carbono através da fotossíntese, processo que utiliza a radiação solar como fonte energética - é distribuída e armazenada nos corpos dos seres vivos graças a grande cadeia alimentar, onde a base primária são os vegetais. Sua utilização como combustível pode ser feita das suas formas primárias ou derivados: madeira bruta, resíduos florestais, excrementos animais, carvão vegetal, álcool, óleo animal ou vegetal, gaseificação de madeira, bio gás etc [4].

A renovação na biomassa se dá através do chamado ciclo do carbono. A decomposição ou a queima da matéria orgânica ou de seus derivados provoca a liberação de  $\text{CO}_2$  na atmosfera. As plantas, através da fotossíntese, transformam o  $\text{CO}_2$  e água nos hidratos de carbono, que compõe sua massa viva, libertando oxigênio [4].

### **1.2.4 Hidroenergia**

De acordo com a fonte [4], a hidroenergia é a energia cinética das massas de água dos rios, que fluem de altitudes elevadas para os mares e oceanos graças a força gravitacional. Este fluxo é alimentado em ciclo reverso graças a evaporação da água, elevação e transporte do vapor em forma de nuvens, naturalmente realizados pela radiação solar e pelos ventos.

A Hidroenergia, aproveitamento das quedas de água, tem a energia solar como fonte de renovação. O ciclo se dá através da evaporação da água dos rios, lagos, mares e oceanos, pela radiação solar directa e os ventos.

### **1.3 PRINCIPIOS CIENTIFICOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Segundo Wolfgang ' Energia solar e fontes alternativas', a energia solar recebida pela terra a cada ano é dez vezes superior a contida em toda reserva de combustíveis fósseis [4]. Mas, actualmente a maior parte da energia utilizada pela humanidade provém de combustíveis fósseis ( petróleo, carvão mineral, etc). A vida moderna tem sido movida a custa de recursos esgotáveis que levaram milhões de anos para se formar. O uso desses combustíveis em larga escala tem mudado substancialmente a composição da atmosfera e o balanço térmico do planeta provocando o aquecimento global, de gelo nos pólos, chuvas ácidas e o envenenamento da atmosfera e todo meio ambiente.

De acordo com a mesma fonte, a utilização das energias renováveis em substituição dos combustíveis fósseis é uma direcção vantajosa. Pois além de serem praticamente inesgotáveis, as energias renováveis podem apresentar impacto ambiental muito baixo ou quase nulo, sem afectar o balanço térmico ou composição atmosférica do planeta.

Gracias aos diversos tipos de manifestação, disponibilidade de larga abrangência geográfica e várias possibilidades, as energias renováveis são bastante próprias para geração distribuída e ou autônoma. O desenvolvimento das tecnologias das energias renováveis poderão beneficiar comunidades rurais e regiões afastadas bem como a produção agrícola através da autonomia energética e consequente melhoria global da sua captação.

### **1.4 PRINCIPIOS SOCIAIS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS**

Os sistemas foto voltaicos tem evoluído de forma bastante considerável desde as suas primeiras utilizações na de década 50 [5]. Desde esta data o custo deste sistema continua a crescer em simultâneo com o crescimento e desenvolvimento de novos sistemas tornando-se cada vez mais no mercado da energia [5]. Os esforços combinados da industria e das organizações publicas e governamentais tornam possível o decrescimento dos custos dos sistemas foto voltaicos em mais de 300% desde 1982. O decrescimento do mercado mundial é de 20% [5]. De acordo com a mesma fonte, as aplicações mais comuns destes sistemas são os

sistemas de corrente contínua, de potências inferiores a 100W. Mais de 2000 casas em todo mundo são alimentadas por esses sistemas com potências inferiores a 1 KW e muitos deles alimentadas por corrente alternada.

A produção de módulos dos sistemas foto voltaicos para utilização terrestre aumentou com um factor multiplicativo de 200 nos últimos 20 anos [6]. Estando o fabrico de células foto voltaicas distribuídos em 48% (cristal silicone simples), 30% silicone poli-cristalino, 20% de silicone amorfo e os restantes 2 % de outros materiais.

De acordo com [6], O custo anual está actualmente entre 60 dólares/KW e os 220 dólares/KW. Com este custo os sistemas foto voltaicos são viáveis para sistemas isolados (afastados da rede eléctrica): consumidores domésticos, bombagem de água, telecomunicações, etc. A operabilidade e o tempo de vida destes sistemas tem melhorado de dia para dia. Os fabricantes garantem actualmente tempo de vida para os seus produtos de 20 anos

### **1.5. OBJECTIVOS DO ESTUDO**

- Trazer uma visão generalizada das diferentes formas de energias renováveis, mecanismos de sua utilização em diferentes áreas como modelo de substituição das energias não renováveis.
- Fazer o cálculo de abastecimento eléctrico de uma Escola Industrial para as especialidades de Mecânica Geral, Construção Civil e Sistemas eléctricos a ser implantada em Catembe a 80 km da zona de habitação e das estradas (uma zona isolada da rede de abastecimento de electricidade), recorrendo o abastecimento fotovoltaico e eólico, tendo em conta as condições existentes do local.

## 1.6 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] TEXTO "MÓDULO SOBRE ENERGIAS RENOVÁVEIS", Prof. Doutor BoaventuraChongo Cuamba
- [2] RENEWABLE ENERGY RESOURCES, John Twidell and Tony Weir 2a edição
- [3] [http:// www.eia.doe.gov/emeu/ae/eh/intro.html](http://www.eia.doe.gov/emeu/ae/eh/intro.html)
- [4] PÁGINA DO CBEE NA INTERNET ([www.Aondevamos.energias\\_renovaveis.com.br](http://www.Aondevamos.energias_renovaveis.com.br))
- [5] RENEWABLE ENERGY RESOURCES, "John Twidell e Toy Weir", Second edition
- [6] ENERGIAS RENOVÁVEIS NO MUNDO "CLÁUDIO MONTEIRO", Junho de 1996

## 2. ESTADO ENERGÉTICO ACTUAL EM MOÇAMBIQUE

O estado energético sob ponto de vista de utilização é preocupante, visto se tratar de um país sob desenvolvido, com uma política praticamente instável, onde se regista um índice de alfabetizados menor comparados com o total da densidade populacional, provavelmente sendo estas uma das razões da dependência do exterior e como consequência do fraco desenvolvimento de capacidades de investigação no que se refere ao aspecto energético culminando na utilização de combustíveis fósseis como fonte de energia principalmente em zonas urbanas.

O sistema de abastecimento de electricidade nacional está enfrentando sérios problemas para cobrir todas áreas do País mesmo antes da ELECTRA ser privatizada (9/12/1999) [7]. Isto deve se as causas acima citadas.

Esta problemática agrava-se ainda mais com os custos elevados dos combustíveis tomados como bases se sustentação de quase toda população Moçambicana (petróleo, gasolina, gásóleo, gás de consumo doméstico) que agrava-se ainda mais com o custo muito elevado de vida e em simultâneo, sem se considerar também os aspectos referentes perigo da vida da humana devido os efeitos causados pelos combustíveis acima referidos. Um estudo desenvolvido de meios de utilização de energias renováveis seria sem dúvidas o mais racional sob ponto de vista da vida dos utilizadores em comparação com os combustíveis comuns.

O sector de energia em Moçambique compreende dois sub sectores o comercial e o tradicional. O subsector comercial, que em linhas gerais pode ser caracterizado como sendo aquele que usa produtos de energia comercializáveis em mercados formais, sendo de destacar a energia hidroelétrica, os derivados do petróleo bruto e o gás, representam apenas cerca de 17% da energia consumida no país. A energia comercial é fundamentalmente usada na indústria, em centros urbanos, no transporte e na agricultura mecanizada. Em termos de fornecimento de energia eléctrica, este sub sector cobre cerca de 7% da população moçambicana. Nas zonas rurais menos de 1% da população moçambicana tem acesso a energia eléctrica [1]. O sub sector tradicional de energia, dominado fundamentalmente pela biomassa, partilha cerca de 83% do total de energia consumida no país. As zonas rurais que representam cerca de 80% da população moçambicana e também as zonas peri-urbanas, são as principais consumidoras de energias tradicionais sendo estas usadas principalmente para a confecção de alimentos e para o

aquecimento em épocas frias [1]. Portanto, pode-se perceber que maior parte da população moçambicana usa a biomassa como principal fonte de energia, não havendo investimentos grandes para o desenvolvimento de tecnologias de aproveitamento das fontes renováveis de energia, das quais o país é um grande detentor.

## **2.1 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA**

- [1] TEXTO “MÓDULO SOBRE ENERGIAS RENOVÁVEIS”, Prof. Doutor BoaventuraChongo  
Curitiba
- [7] AGENCIA DE REGULAÇÃO ECONÓMICA ( ARE)

### 3. RADIAÇÃO SOLAR

O aproveitamento da energia gerada pelo Sol, inesgotável na escala terrestre de tempo, tanto como fonte de calor quanto de luz, é hoje, sem sombra de dúvidas, uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio [8]. E quando se fala em energia, deve-se lembrar que o Sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas da energia do Sol.

É a partir da energia do Sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, que possibilita o represamento e a consequente geração de electricidade ( hidroelectricidade ). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais que, originalmente, obtiveram a energia necessária ao seu desenvolvimento, da radiação solar.

A energia solar é uma das energias renováveis que vem sendo explorada pela humanidade desde os mais antigos tempos. No passado utilizava o calor fornecido pela radiação solar entre outros fins como fonte de luz, secagem dos alimentos, etc. Com o evoluir dos tempos, foram sendo descobertas novas formas de aproveitamento da radiação solar como fonte de energia para diferentes finalidades. Hoje, sendo esta energia praticamente inesgotável, continua sendo aproveitada como fonte de calor e de luz e, é uma alternativa energética muito aplicável para enfrentar os desafios do novo milênio, na medida em que existe um enorme potencial exploração da energia solar por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, eléctrica, mecânica, etc.).

Como anteriormente fora dito, o sol é responsável pela origem de praticamente todas as outras fontes de energia. Em outras palavras, as fontes de energia são, em última instância, derivadas da energia do Sol. É a partir da energia do sol que se dá a evaporação, origem do ciclo das águas, e a consequente geração de electricidade (hidroelectricidade). A radiação solar também induz a circulação atmosférica em larga escala, causando os ventos. Petróleo, carvão e gás natural foram gerados a partir de resíduos de plantas e animais [8].

A posição angular do Sol, ao meio dia solar, em relação ao plano do Equador (Norte positivo) é chamada de Declinação Solar ( $\delta$ ) [9]. Este ângulo varia, de acordo com o dia do ano, dentro dos seguintes limites:

$$-23,45^\circ < \delta < 23,45^\circ$$

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

#### ALGUMAS FORMAS DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA SOLAR

Uma das aplicações notáveis da radiação solar é a geração de corrente eléctrica, aquecimento de água, secagem de alimentos, etc.

### 3.1 RADIAÇÃO SOLAR FOTO TÉRMICA

Nesse caso [8], interessa-se a quantidade de energia que um determinado corpo é capaz de absorver, sob a forma de calor, a partir da radiação solar incidente no mesmo. A utilização dessa forma de energia implica saber captá-la e armazená-la. Os equipamentos mais difundidos com o objetivo específico de se utilizar a energia solar foto térmica são conhecidos como *colectores solares*

Os colectores solares são aquecedores de fluidos (líquidos ou gasosos) e são classificados em *colectores concentradores* e *colectores planos* em função da existência ou não de dispositivos de concentração da radiação solar. O fluido aquecido é mantido em reservatórios termicamente isolados até o seu uso final (água aquecida para banho, ar quente para secagem de grãos, gases para racionamento de turbinas, etc.).

Os colectores solares planos são, hoje, largamente utilizados para aquecimento de água em residências, hospitais, hotéis, etc. devido ao conforto proporcionado e a redução do consumo de energia eléctrica.

## 3.2 ARQUITECTURA BIO CLIMÁTICA

Chama-se arquitectura bio climática o estudo que visa harmonizar as construções ao clima e características locais, pensando no homem que habitará ou trabalhará nelas, e tirando partido da energia solar, através de correntes convectivas naturais e de microclimas criados por vegetação apropriada[6]. É a adopção de soluções arquitectónicas e urbanísticas adaptadas às condições específicas (clima e hábitos de consumo) de cada lugar, utilizando, para isso, a energia que pode ser directamente obtida das condições locais.

A arquitectura bio climática não se restringe a características arquitectónicas adequadas. Preocupa-se, também, com o desenvolvimento de equipamentos e sistemas que são necessários ao uso da edificação (aquecimento de água, circulação de ar e de água, iluminação, conservação de alimentos, etc.) e com o uso de materiais de conteúdo energético tão baixo quanto possível.

## 3.3 RADIAÇÃO SOLAR A NÍVEL DO SOLO

Esta parte teve lugar na Faculdade de ciências localizada nos campos Universitário

De toda a radiação solar que chega às camadas superiores da atmosfera, apenas uma fracção atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera [8]. Esta fracção que atinge o solo é constituída por uma componente directa (ou de feixe) e por uma componente difusa.

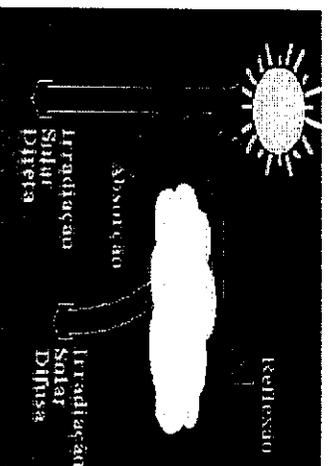


Figura 3.1 Componentes da radiação solar no solo. Extraído de[8]

A figura 3.1 ilustra os fenómenos que ocorrem quando a radiação solar atinge a superfície terrestre. Com base na figura pode se ver parte da radiação é reflectida, outra é absorvida.

Antes de atingir o solo, as características da radiação solar (intensidade, distribuição espectral e angular) são afectadas por interações com a atmosfera devido aos efeitos de absorção e

espalhamento. Estas modificações são dependentes da espessura da camada atmosférica, também identificada por um coeficiente denominado "Massa de Ar" (AM), e, portanto, do ângulo Zenital do Sol, da distância Terra-Sol e das condições atmosféricas e meteorológicas [8].

Devido à alternância de dias e noites, das estações do ano e períodos de passagem de nuvens e chuvosos, o recurso energético solar apresenta grande variabilidade, induzindo, conforme o caso, à selecção de um sistema apropriado de estocagem para a energia resultante do processo de conversão.

Observa-se que somente a componente directa da radiação solar pode ser submetida a um processo de concentração dos raios através de espelhos parabólicos, lentes, etc. Consegue-se através da concentração, uma redução substancial da superfície absorvedora solar e um aumento considerável de sua temperatura.

### **3.4 SOLARIMETRIA E INSTRUMENTOS DE CAPTAÇÃO E CONVERSÃO**

A medição da radiação solar, tanto a componente directa como a componente difusa na superfície terrestre é de maior importância para os estudos das influências das condições climáticas e atmosféricas [8]. Mediante isso, pode-se viabilizar a instalações de sistemas térmicos e foto voltaicos em uma determinada região garantindo o máximo aproveitamento ao longo do ano onde, as variações da intensidade da radiação solar sofrem significativas alterações.

De acordo com as normas pré estabelecidas pela OMM (Organização Mundial de Meteorologia) são determinados limites de precisão para quatro tipos de instrumentos: de referência ou padrão, instrumentos de primeira, segunda e terceira classe. As medições padrões são: radiação global e difusa no plano horizontal e radiação directa normal.

#### **3.4.1 INSTRUMENTOS DE MEDIÇÃO E CAPTAÇÃO DA RADIAÇÃO**

A radiação solar ao penetrar no globo terrestre dois fenómenos podem surgir, uma parte penetra directamente (radiação directa) e a outra parte sofre interferência, que se denomina radiação difusa, sendo a radiação global o somatório destas duas radiações.

De acordo com [8] instrumentos usados para a medição das radiações são descritos a baixo:

#### **1 - Piranômetros**

Os piranômetros (figura 3.2) medem a radiação global. Este instrumento caracteriza-se pelo uso de uma termo pilha que mede a diferença de temperatura entre duas superfícies, uma pintada de preto e outra pintada de branco igualmente iluminadas. A expansão sofrida pelas superfícies provoca um diferencial de potencial que, ao ser medida, mostra o valor instantâneo da energia solar.

Um outro modelo bem interessante de piranômetro é aquele que utiliza uma célula foto voltaica de silício mono cristalino para colectar medidas solarimétricas. Estes piranômetro é largamente utilizados pois apresentam custos bem menores do que os equipamentos tradicionais. Pelas características da célula foto voltaica, este aparelho apresenta limitações quando apresenta sensibilidade em apenas 60% da radiação solar incidente.

Existem vários modelos de piranômetros de primeira (2% de precisão) e também de segunda classe (5% de precisão). Existem vários modelos de diversos fabricantes entre eles podemos citar: Eppley 8-48 (USA), Cimel CE-180 (França), Schenk (Áustria), M-80M (Rússia), Zonen CM5 e CM10 (Holanda).

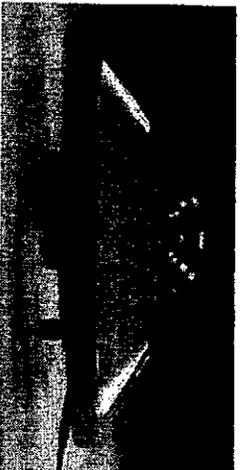


Figura 3.2 - Piranômetro de Segunda Classe  
Fonte extraída de [8]

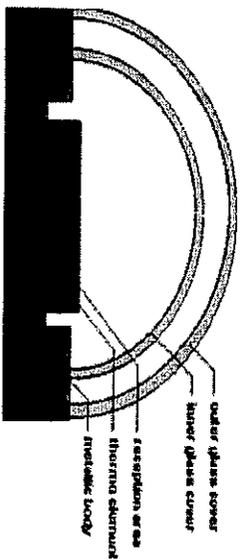


Figura 3.3 - Secção transversal de um piranômetro Fonte  
extraída de [8]

## 2- Pireliômetros

Os pireliômetros (figura 3.4 e 3.5) são instrumentos que medem a radiação directa. Ele se caracteriza por apresentar uma pequena abertura de forma a "visualizar" apenas o disco solar e a região vizinha denominada circunsolar. O instrumento segue o movimento solar onde é constantemente ajustado para focalizar melhor a região do sensor.

Muitos dos pireliômetros hoje são auto calibráveis apresentando precisão na faixa de .5% quando adequadamente utilizados para medições.



Figura 3.4 - Pireliômetros de Cavidade Absoluta.

Fonte extraída de [8]



Figura 3.5 - Pireliômetros de Incidência Normal.

Fonte extraída de [8]

### 3- Rarrómetro

#### Mede a radiação global (directa)

Este permite medir a radiação ultravioleta, permitindo com isso conhecer o grau de impacto aos tecidos da pele humana, uma vez que estes raios são prejudiciais ao tecido da pele humana devido ao câncer.

### 4. Heliógrafo

Instrumento que registra a duração do brilho solar. A radiação solar é focalizada por uma esfera de cristal de 10 cm de diâmetro sobre uma fita que, pela acção da radiação é enegrecida. O cumprimento desta fita exposta a radiação solar mede o número de horas de insolação.



Figura 3.6 – Heliógrafo. Extraído de [8]

### **3.5 REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA**

- [8] PÁGINA DO CRESESB NA INTERNET ([www.cresesb.com.br](http://www.cresesb.com.br))
- [9] FICHA DE APOIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS 2005 "Fatima Arthur"

## 4. ENERGIA SOLAR FOTO VOLTAICA

A Energia Solar Foto voltaica é a energia obtida através da conversão directa da luz em electricidade (Efeito Foto voltaico). O efeito foto voltaico, relatado por Edmond Becquerel, em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semiconductor, produzida pela absorção da luz. A célula foto voltaica é a unidade fundamental do processo de conversão [6].

Segundo a mesma fonte(anteriormente citado), o desenvolvimento da tecnologia apoiou-se na busca, por empresas do sector de telecomunicações, de fontes de energia para sistemas instalados em localidades remotas. O segundo agente impulsionador foi a "corrida espacial". A célula solar era, e continua sendo, o meio mais adequado (menor custo e peso) para fornecer a quantidade de energia necessária para longos períodos de permanência no espaço. Outro uso espacial que impulsionou o desenvolvimento das células solares foi a necessidade de energia para satélites.

O Sol fornece anualmente, para a atmosfera terrestre,  $1,5 \times 10^{18}$  KWh de energia. Trata-se de um valor considerável, correspondendo a 10000 vezes o consumo mundial de energia neste período. Este facto vem indicar que, além de ser responsável pela manutenção da vida na Terra, a radiação solar constitui-se numa inesgotável fonte energética, havendo um enorme potencial de utilização por meio de sistemas de captação e conversão em outra forma de energia (térmica, eléctrica, etc.).

Uma das possíveis formas de conversão da energia solar é conseguida através do efeito foto voltaico que ocorre em dispositivos conhecidos como *células foto voltaicas*. Estas células são componentes opto electrónicos que convertem directamente a radiação solar em electricidade. São basicamente constituídas de materiais semicondutores, sendo o silício o material mais empregado [6].

As células solares são sistemas de conversão directa de energia solar em energia eléctrica. Este efeito é designado por efeito foto voltaico, sendo demonstrado pela primeira vez em 1939 por Becquerel [6].

#### 4.1 RENDIMENTO DO UM PAINEL SOLAR

O rendimento do painel solar depende da radiação solar, temperatura, da tensão e da sujidade do painel. Este valor é normalmente fornecido pelo fabricante [6]. Caso não seja fornecido pode ser determinado pela fórmula:

$$\eta = \frac{W_{pico}}{A} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

Onde:

$W_{pico}$  – é a potencia do pico (KW<sub>p</sub>) é calculada as condições standard a 1KW/m<sup>2</sup> e a 25°C

A – é a área do painel (m<sup>2</sup>)

#### 4.2 MECANISMO DE CONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR EM ELÉCTRICA

As células foto voltaicas consistem em duas camadas de material semiconductor, uma com característica eléctrica positiva e a outra negativa [6]. Quando a luz solar incide sobre a camada negativa alguns fótons são absorvidos libertando electrões e gerando uma corrente eléctrica que percorre o circuito externo, que por sua vez se fecha através da camada semi-condutora positiva.

Os sistemas foto voltaicos são utilizados essencialmente em locais isolados, como é o caso deste projecto, onde seria bastante caro a recorrência do abastecimento da rede nacional das TDM assim como no uso de geradores eléctricos, visto se tratar de uma instalação de grande consumo de electricidade.

#### 4.3 ASPECTOS TECNOLÓGICOS DE SISTEMAS FOTO VOLTÁICOS

A magnitude de tensão gerada por um modulo do sistema foto voltaico é função do nível de radiação do local podendo ser incrementada pela ligação paralela de vários módulos. as células são fabricadas para operarem a determinados níveis de tensão, sendo possível o seu controle a partir de associações em série [6].

Para o caso de aplicação de correntes alternadas são utilizados equipamentos electrónicos (inversores DC-AC), permitindo com isso a manipulação da onda de saída.

#### 4.4 TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Segundo a fonte [6], existem três tipos de sistemas foto voltaicos:

- Isolados de pequena dimensão;
- Sistemas híbridos;
- Sistemas ligados a rede.

**Os sistemas isolados:** são constituídos por um conjunto de painéis, um regulador de carga, uma ou mais baterias e um inversor ( se existirem cargas AC). Os reguladores de carga são responsáveis pelo controlo de carga das baterias. Por sua vez as baterias deverão ter uma capacidade suficiente de modo a garantir o abastecimento de electricidade durante o dia assim como no período de noite para os dias de insolação baixa.

**Os sistemas híbridos:** constituem uma combinação do sistema foto voltaicos com outras fontes de energia que asseguram a carga das baterias no caso da ausência do sol.

**Os sistemas ligados a rede:** são constituídos por um sistema de painéis e um inversor, não sendo necessário o uso de baterias. Estes sistemas podem ser de pequenas dimensões para alimentação de residências, de media ou grande dimensão constituindo centrais foto voltaicas com potencias instaladas entre dezenas de KW pico e alguns MW pico

#### 4.5 ASPECTOS ECONÓMICOS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os custos dos sistemas foto voltaicos dependem do tipo de sistema, dos componentes do sistema e da quantidade dos componentes produzidos.

O tempo de vida de um sistema foto voltaico varia ente 10 a 30 anos [6]. Os custos deste sistema são na maioria derivados dos custos de investimento que se assentam em:

- Custo dos painéis. Estes representam mais da metade dos custos do sistema no seu todo. Para sistemas isolados o custo é avaliado em cerca de 1/3 dos custos do sistema;
- Custo dos equipamentos auxiliares, envolve o custo das baterias, inversores, condutores, controladores, etc;

- Custo de transporte e de instalação, estes variam entre 0 a 10% do custo dos equipamentos;
- Custo do projecto de engenharia, que dependem da experiência em cada tipo de sistemas;

## 4.6 TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

As células foto voltaicas são fabricadas, na sua grande maioria, usando o silício (Si) e podendo ser constituída de cristais mono cristalinos, poli cristalinos ou de silício amorfo.

### 4.6.1 Silício Mono cristalino

A célula de silício mono cristalino (figura 4.1) é historicamente as mais usadas e comercializada como conversor directo de energia solar em electricidade e a tecnologia para sua fabricação é um processo básico muito bem constituído [10]

A fabricação da célula de silício começa com a extracção do cristal de dióxido de silício. Este material é desoxidado em grandes fornos, purificado e solidificado. Este processo atinge um grau de pureza em 98 e 99% o que é razoavelmente eficiente sob o ponto de vista energético e custo. Este silício para funcionar como células foto voltaicas necessita de outros dispositivos semicondutores e de um grau de pureza maior devendo chegar na faixa de 99,9999% [10]

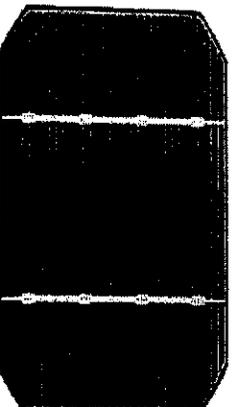


Figura 4. 1 - Célula de silício mono cristalino. Extraído de [8]

Para se utilizar o silício na indústria eletrônica além do alto grau de pureza, o material deve ter a estrutura mono cristalina e baixa densidade de defeitos na rede. O processo mais utilizado para se chegar as qualificações desejadas é chamado "processo Czochralski" [10] O silício é fundido juntamente com uma pequena quantidade de dopante, normalmente o boro que é do tipo P. Com um fragmento do cristal devidamente orientada e sob rígido controle de temperatura, vai-se extraindo do material fundido um grande cilindro de silício mono cristalino levemente dopado. Este cilindro obtido é cortado em fatias finas de aproximadamente 3000 m [10]

Após o corte e limpezas de impurezas das fatias, deve-se introduzir impurezas do tipo N de forma a obter a junção. Este processo é feito através da difusão controlada onde as fatias de silício são expostas a vapor de fósforo em um forno onde a temperatura varia entre 800 a 1000°C [3].

Dentre as células foto voltaicas que utilizam o silício como material base, as mono cristalinas são, em geral, as que apresentam as maiores eficiências. As foto células comerciais obtidas com o processo descrito atingem uma eficiência de até 15% podendo chegar em 18% em células feitas em laboratórios.

#### 4.6.2 Silício Poli cristalino

As células de silício poli cristalino (figura 4.2) são mais baratas que as de silício mono cristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso. A eficiência, no entanto, cai um pouco em comparação as células de silício mono cristalino.

O processo de pureza do silício utilizado na produção das células de silício poli cristalino é similar ao processo do Si mono cristalino, o que permite obtenção de níveis de eficiência compatíveis. Basicamente, as técnicas de fabricação de células poli cristalinas são as mesmas na fabricação das células mono cristalinas, porém com menores rigores de controle [10].

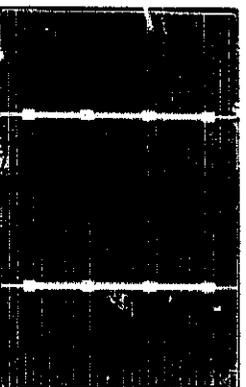


Figura 4.2 - Célula de silício poli cristalino. Extrairdo de [8]

Podem ser preparadas pelo corte de um lingote, de fitas ou depositando um filme num substrato, tanto por transporte de vapor como por imersão. Nestes dois últimos casos só o silício poli cristalino pode ser obtido. Cada técnica produz cristais com características específicas, incluindo tamanho, morfologia e concentração de impurezas. Ao longo dos anos, o processo de fabricação tem alcançado eficiência máxima de 12,5% em escalas industriais [8].

### 4.6.3 Silício Amorfo

Uma célula de silício amorfo difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos [8]. A utilização de silício amorfo para uso em foto células tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades eléctricas quanto no processo de fabricação. Por apresentar uma absorção da radiação solar na faixa do visível e podendo ser fabricado mediante deposição de diversos tipos de substratos, o silício amorfo vem se mostrando uma forte tecnologia para sistemas foto voltaicos de baixo custo. Mesmo apresentando um custo reduzido na produção, o uso de silício amorfo apresenta duas desvantagens: a primeira é a baixa eficiência de conversão comparada às células mono e poli cristalinas de silício; em segundo, as células são afectadas por um processo de degradação logo nos primeiros meses de operação, reduzindo assim a eficiência ao longo da vida útil [8].

Por outro lado, o silício amorfo apresenta vantagens que compensam as deficiências acima citados, são elas:

- processo de fabricação relativamente simples e barato;
- possibilidade de fabricação de células com grandes áreas;
- baixo consumo de energia na produção.

### 4.7 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Pela baixa tensão e corrente de saída em uma célula foto voltaica, agrupam-se várias células formando um módulo. O arranjo das células nos módulos pode ser feito conectando-as em série ou em paralelo (figura 5.3). Nesta conexão, somam-se as correntes de cada módulo e a tensão do módulo é exactamente a tensão da célula. A corrente produzida pelo efeito foto voltaico é contínua. Pelas características típicas das células (corrente máxima por volta de 3A e tensão muito baixa, em torno de 0,7V) este arranjo não é utilizado salvo em condições muito especiais [9].

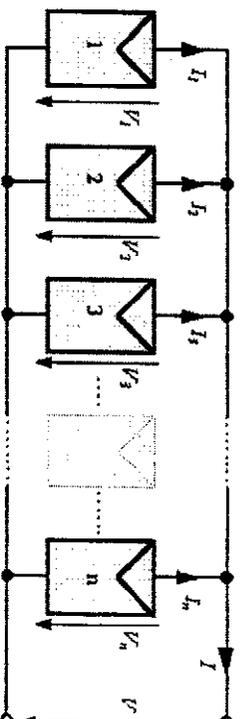


Figura 4.3 - Conexão de células em paralelo. Extraído de [10]

A conexão mais comum de células foto voltaicas em módulos é o arranjo em série (figura 4.4). Este consiste em agrupar o maior número de células em série onde soma-se a tensão de cada célula chegando a um valor final de tensão pretendida, o que possibilita carregamento dos acumuladores (baterias) que também funcionam na mesma faixa de voltagem, [10].

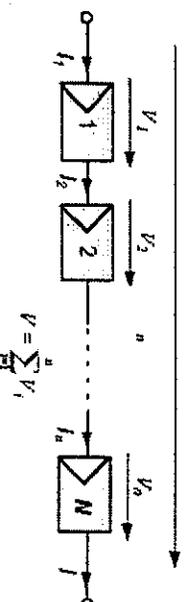


Figura 4.4- Arranjo das células em série. Extraído de [10]

Quando uma célula foto voltaica dentro de um módulo, por algum motivo, estiver encoberta a potência de saída do módulo cairá drasticamente e estando esta ligada em série, comprometerá todo o funcionamento das demais células no módulo [9]. Para que toda a corrente de um módulo não seja limitado por uma célula de pior desempenho (o caso de estar encoberta), usa-se um diodo de passo ou de "bypass" (figura 4.5). Este doído serve de caminho alternativo para a corrente e limita a dissipação de calor na célula defeituosa. Geralmente o uso do doído bypass é feito em agrupamentos de células o que, torna muito mais barato comparado ao custo de se conectar um diodo em cada célula [10].

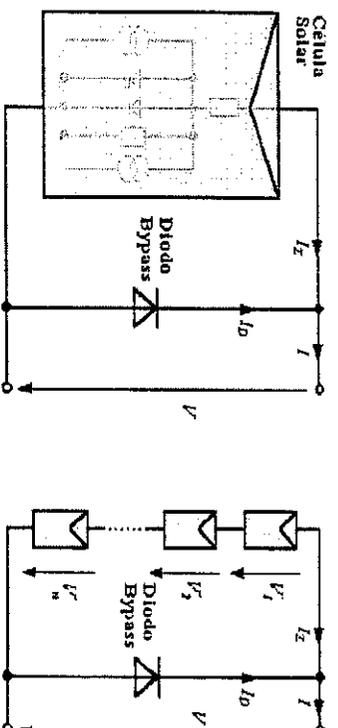


Figura 4.5 - Possível ligação para um diodo bypass entre células. Extraído de [10]

Um outro problema que pode acontecer é quando surge uma corrente negativa fluindo pelas células ou seja, ao invés de gerar corrente, o módulo passa a receber muito mais do que produz [10]. Esta corrente pode causar queda na eficiência das células e, em caso mais drástico, a célula pode ser desconectado do arranjo causando assim a perda total do fluxo de energia do módulo. Para evitar esses problemas, usa-se um diodo de bloqueio, conforme a ilustração da figura 5.6 impedindo assim as correntes reversas que podem ocorrer caso liguem o módulo directamente em um acumulador ou bateria [10].

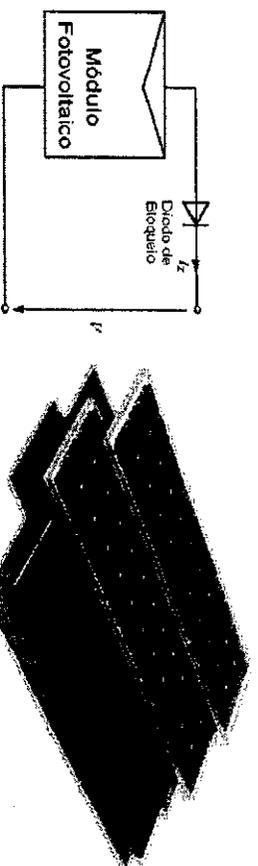


Figura 4.6 - Diodo de bloqueio. Extraído de [10]

Figura 4.7. Módulos foto voltaicos. Extraído de [10]

#### 4.7.1 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Geralmente, a potência dos módulos é dada pela potência de pico. Tão necessário quanto este parâmetro, existem outras características eléctricas que melhor caracterizam a funcionalidade do módulo. As principais características eléctricas dos módulos foto voltaicos são as seguintes:

1. Voltagem de Circuito Aberto ( $V_{oc}$ )
2. Corrente de Curto Circuito ( $I_{sc}$ )
3. Potência Máxima ( $P_m$ )

4. Voltagem de Potência Máxima ( $V_{mp}$ )
5. Corrente de Potência Máxima ( $I_{mp}$ )

A condição padrão para se obter as curvas características dos módulos é definida para radiação de  $1000\text{W}/\text{m}^2$  (radiação recebida na superfície da Terra em dia claro, ao meio dia), e temperatura de  $25^\circ\text{C}$  na célula (a eficiência da célula é reduzida com o aumento da temperatura).

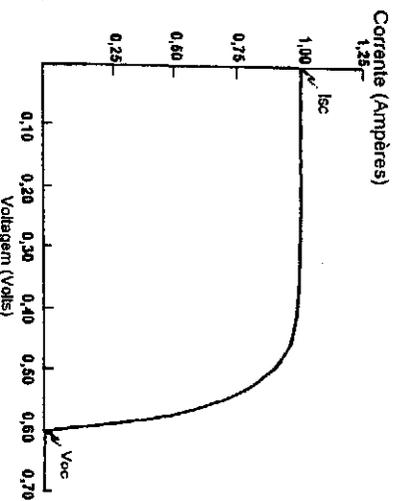


Figura 4.8 Curva característica  $I \times V$  mostrando a corrente  $I_{sc}$  e a tensão  $V_{oc}$ . Fonte extraída de [10]

Da figura 4.8, nota-se que uma constância da corrente para uma faixa de tensão, acima da qual se verifica um decréscimo da corrente. A curva vai desde  $V=0\text{V}$  (curto circuito, com corrente  $I_{sc}$ ) até  $V=V_{oc}$  (circuito aberto, com  $I=0$  amperes). Depois se abre o circuito com voltagem  $V_{oc}$  com um aumentando ligeiro, contrariando a corrente do curto circuito  $I_{sc}$ .

#### 4.7.2 FACTORES QUE AFECTAM AS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS

Os principais factores que influenciam nas características eléctricas de um painel são:

- Intensidade Luminosa
- Temperatura das Células.

A corrente gerada nos módulos aumenta linearmente com o aumento da Intensidade luminosa. Por outro lado, o aumento da temperatura na célula faz com que a eficiência do módulo caia abaixando assim os pontos de operação para potência máxima gerada.

#### 4.8 COMPONENTES DE UM SISTEMA FOTO VOLTAICO

Um sistema foto voltaico pode ser classificado em três categorias distintas: sistemas isolados, híbridos e conectados a rede. Os sistemas obedecem a uma configuração básica onde o

sistema deverá ter uma unidade de controle de potência e também uma unidade de armazenamento [10].

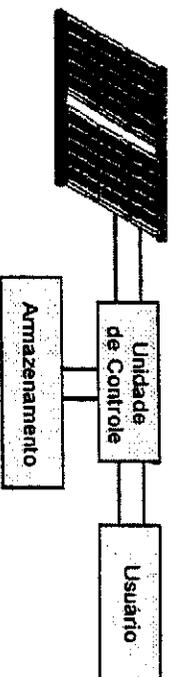


Figura 4.9 - Configuração básica de um sistema foto voltaico. Extrato de [10]

A figura 4.9 ilustra o sistema funcional foto voltaico. A corrente gerada passa por unidade de controle onde se faz o controle ou regulação. Depois a regulação vai ao consumo directo ) ou transferida para as baterias ( armazenamento) e só então será utilizada.

#### 4.9. BATERIAS ( ACUMULADORES DE CARGA)

As baterias para o sistema foto voltaico são baterias de chumbo (ácidas) [6]. As baterias de cadmium níquel (alcalinas) só são utilizadas com condições climáticas adversas ou em locais que é necessário grande fiabilidade. Quando se escolhem as baterias para o sistema foto voltaico deve se ter em conta para além da tensão nominal, factores como:

- Gama de temperatura admissíveis( -15 até +50°C );
- Taxa de auto descarga (2% por mês a 25°C );
- Tempo de vida (1800 ciclos com 80% de profundidade de descarga);
- Eficiência de descarga desde 20% descarregada
- Capacidade (Ah) para descarga;
- Frequência requerida para restabelecer os níveis de electrólito; e
- Peso, resistência a sobrecarga e custo.

##### 4.9.1 REGULADORES DE CARGA

A vida útil das baterias depende da forma do controle do carregamento e do descarregamento [6]. Este controle é assegurado pelos reguladores de carga que fazem a cada instante o controle a tensão dos acumuladores no momento em que se faz o carregamento. Após se fazer o carregamento, o regulador interrompe a corrente evitando a perda de electrólito e o eventual aquecimento nos acumuladores. A maior parte dos reguladores de carga dispõem de um

alarme que sinaliza quando o nível mínimo da tensão é atingido e depois o regulador desliga as cargas até que o nível de tensão suba e deixe de ser um perigo para o acumulador.

#### 4.10 CÁLCULO DOS PARÂMETROS FOTOVOLTAICOS

Segundo [9] os parâmetros foto voltaicos podem ser determinados de seguinte modo:

Disponibilidade energética oferecida por cada painel é dada pela formula seguinte:

$$E_{PV} = P_{PV} \cdot T_{PSC} \quad [\text{Wh/Dia}] \quad (4.2)$$

para  $n$  painéis foto voltaicos tem-se:

$$E_{PV} = n_{PV} \cdot P_{PV} \cdot T_{PSC} \quad [\text{Wh/Dia}] \quad (4.3)$$

#### 2. Necessidade energética

$$E_{necel} = I_{necel} \cdot Y_{bat} \quad [\text{Wh/Dia}] \quad (4.4)$$

A necessidade energética mensal será dada por:

$$E_{necel_{mens}} = N \cdot E_{necel} \quad (4.4.1)$$

Onde  $N$  é o numero de dias do mês

Sempre o total de energia disponível deve superar a necessidade para o consumo, de acordo com a seguinte condição:

$$E_{disp} = n_{PV} \cdot E_{PV} \geq E_{necel} \quad (4.5)$$

#### 3. Corrente gerada nos painéis e nas baterias

A corrente em cada painel é calculada por:

$$I_{PV} = \frac{E_{PV}}{V_{PV}} \quad \text{ou} \quad I_{disp} = \frac{E_{disp}}{V_{bat}} \quad [\text{Ah}] \quad (4.6)$$

A corrente total necessária é calculada pela fórmula:

$$I_{tot} = I_{necel} \cdot f_R \cdot n_{bat} \quad [\text{Ah/dia}] \quad (4.7)$$

A corrente total mensal necessária para carregar as baterias é dada pela equação:

$$I_{tot_{mensal}} = I_{tot} \cdot n_{dias} + I_{tot} \quad [\text{Ah/mês}] \quad (4.7.1)$$

#### 4. Área ocupada pelos painéis

$$A_{tot} = n_{PV} \cdot A_{PV} \quad [m^2] \quad (4.8)$$

Para painéis rectangulares tem-se:

$$A_{tot} = n_{PV} \cdot A_{PV} = n_{PV} \cdot l_{PV} \cdot b_{PV} \quad [m^2] \quad (4.9)$$

Para o projecto de número de painéis necessários deve se cumprir a condição:

$$n_{PV} \geq \frac{I_{med}}{I_{PV}} \quad (4.10)$$

5. Potência máxima requerida

$$P_{max} = \frac{P_{med}}{f_{carga}} = \frac{E_{med}}{N \cdot f_{carga}} \quad (4.11)$$

6. Cálculo do número de baterias

O número de baterias necessárias é dada pela equação

$$N_{bat} = \frac{I_{med_{cor}}}{I_{bat}} \quad (4.12)$$

7. Determinação do tempo de carregamento das baterias

O tempo total de carregamento das baterias é avaliado pela fórmula:

$$t_{corr} = \frac{I_{med_{cor}}}{n_{PV} \cdot I_{PV}} \quad (4.13)$$

8. Cálculo do saldo energético anual

Para se avaliar o saldo anual, inicialmente se determina o saldo mensal pela fórmula:

$$\Delta E = n_{PV} \cdot I_{PV} - I_{med} \quad [Ah/mês] \quad (4.14)$$

#### 4.11 DADOS INICIAIS DE CÁLCULOS

Para este sistema tem-se como dados iniciais assumidos:

- As baterias a serem usadas sao de 24V e 150 A
- O consumo das 8 as 18 a potencia media e as restantes horas a potencia maxima com o factor de carga de 75%
- As perdas totais nas baterias chegam a atingir 85%

A tabela 4.1a, indica os valores dos consumos energéticos estimados da escola industrial em questão.

Tabela 4.1a - Valores referentes ao consumo energético por cada local da escola em questão

Dimensões (m)	Quantidade	Lampadas por sala	Tot. de lampas	Pot de cada (W)	Horário de funcionamento	Total de horas de funcionamento	$\sum P \cdot t$	
Sala dos professores	10x6	1	8	80	7 as 23	16	1280	
Sala de Desenho	6x6	1	6	80	7 as 23	16	1280	
Salas de aulas	6x6	20	6	120	80	7 as 23	16	1280
Secretaria	6x6	1	6	80	80	7 as 20	13	1040
Cantina	6x5	1	4	80	80	8 as 20	12	960
Casas de banhos	6x2,5	6	4	24	80	7 as 23	16	1280
Pedagogia	4x4	1	4	4	80	7 as 23	16	1280
Biblioteca	10x8	1	8	8	80	7 as 17	10	800
Papelaria	3x2	1	2	2	80	8 as 20	12	960
Ginásio	10x10	1	8	8	80	7 as 17	10	800
Laboratório	6x6	1	6	6	80	7 as 20	13	1040
Oficinas	25x15	1	12	12	80	7 as 17	10	800
Pavilhão de desportos	30x50	1	18	18	80	7 as 20	13	1040
<b>Total de energia</b>							<b>13840</b>	

Outros consumidores de corrente( computadores, Fotocopiadoras,etc)

Energia diária  $E_2 = \sum P \cdot t \approx 5KWh/dia$

Necessidade energética  $E_{necess}(E_1+E_2)$  **18840 Wh/dia**

O valor de 5KWh/dia representa neste caso o excesso de energia como segurança para o caso de utilização na montagem de pequenos consumidores de energia.

No geral para cozinha se usa energia lenhosa. Para abastecimento das máquinas ferramentas será montado um gerador eléctrico, podendo parte desta energia ser usada para fogões eléctricos, ferro de engomar e aparelhos de ar condicionados para climatização.

- Os números de dias de autonomia assumidos estão dados na tabela 4.1b

Tabela 4.1b- Número de dias de autonomies de cada mês.

Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
$n_{aut}$	2	2	2	2	3	4
Mês	Julh	Ago	Set	Out	Nov	Des
$n_{aut}$	5	4	4	3	2	2

- Tipo de painéis pre-seleccionados SHELL SM110-12 e SP 140 SHELL, as características estão indicadas na tabela a baixo:

$$P_{méd} = \frac{18840}{24} \approx 785W / dia, \text{ onde a potencia máxima } P_{max} = \frac{785}{0.75} \approx 1046.7W / dia$$

O diagrama de carga diária está representado na figura a baixo

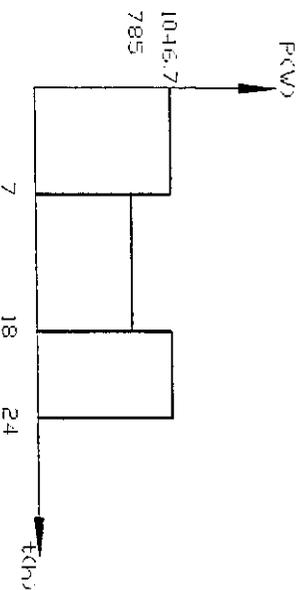


Figura 4.10 Diagrama de carga

Da figura 4.10 nota-se que o maior consumo se verifica das 18 as 7 horas a potencia máxima ao passo que o restante das horas o consumo é se faz a potencia media.

Tabela 4.2 Características dos painéis pré-selecionados. Extrairdo de [6]

Características do painel	SP140 SHELL
Número de células	72
Dimensão das células (mm)	125 x 125
Voltagem máxima (V)	820
Voltagem nominal (V)	24
Comprimento do painel (mm)	1622
Largura do painel (mm)	814
Potência máxima (W)	140
Peso do painel (kg)	17,2

- Os dados da insolação local estão indicados na tabela 4.3 a baixo:

Tabela 4.3 Valores de insolação trimestral média do local , FONTE: Extrairdo de [6]

Mês	Jan	Fev	Marc	Abri	Mai	Jun
Insolação(h/dia)	6,74	6,53	5,9	5,13	4,38	3,96
Mês	Julh	Ago	Set	Out	Nov	Des
Insolação(h/dia)	4,01	4,71	4,88	5	6,1	6,02

Para o cálculo segue-se a sequencia seguinte:

### 1. ESCOLHA DO PAINEL

Pela capacidade do painel e a sua disponibilidade no mercado (existem no mercado nacional) escolhem-se o painel SP 140 SHELL.

### 1.1 CARACTERÍSTICAS DO PAINEL:

As características técnicas dos painéis são dadas na tabela abaixo:

Tabela 4.4 Características técnicas do painel foto voltaico. Extraído de [6]

Tipo de painel	$n_{cel}$	Dimensão celular (mm)	Tensão máx (V)	Tensão nominal(V)	Comprime nto (mm)	Largura L (mm)	Pot. Máx (W)	Peso (kg)
SP140								
SHELL	72	125 X 125	820	24	1622	814	140	17,2

### 2. ÁREA OCUPADA PELO PAINEL

De acordo com a fórmula (4.8) tem-se

$$A = 1,622 \times 0,814 = 1,320 \text{ m}^2$$

### 3. ENERGIA DISPONÍVEL EM CADA PERÍODO DO DIA.

Com base nas fórmulas (4.2) e (4.6), sendo  $P_{FV} = 140W$  e  $V_{FV} = 24V$ , a energia disponível e a corrente disponível diária será de acordo com a tabela 4.3 a baixo:

Tabela 4.5 Disponibilidade energética diária

Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
Insolação(h/dia)	6,74	6,53	5,9	5,13	4,38	3,96
$E_{disp}$ (Wh/dia)	943,6	914,2	826	718,2	613,2	554,4
Mês	Julh	Ago	Set	Out	Nov	Des
Insolação(h/dia)	4,01	4,71	4,88	5	6,1	6,02
$E_{disp}$ (Wh/dia)	561,4	659,4	683,2	700	854	842,8

A corrente disponível de acordo com a equação (4.6), será dada na tabela 4.5 a baixo

Tabela 4.6 Corrente fornecida pelos painéis

Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
$E_{disp}$ (Wh/dia)	943,6	914,2	826	718,2	613,2	554,4
Corrente( Ah)	39,317	38,09167	34,4166667	29,925	25,55	23,1
Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
$E_{disp}$ (Wh/dia)	561,4	659,4	683,2	700	854	842,8
Corrente( Ah)	23,392	27,475	28,4666667	29,16667	35,58333	35,11667

O número de painéis necessários é avaliado pela potencia e pela energia, de acordo com

as fórmulas  $n_{PPV} = \frac{E_{necel}}{E_{FV}}$  ( pela energia ) e  $n_{PPV} = \frac{P_{necel}}{P_{FV}}$  ( pela potencia), que estão dados na tabela

4.6 a baixo:

Tabela 4.7 Número de painéis necessários pela potencia e pela energia

Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
Pela potência	6	6	6	6	6	6
Pela energia	20	21	23	27	31	34
Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
Pela potência	6	6	6	6	6	6
Pela energia	34	29	28	27	22	23

Da tabela 4.7, toma-se o maior valor de número de painéis que é, neste caso  $n=34$

## 5. CORRENTE NECESSÁRIA PARA CARREGAR AS BATERIAS

Calcula-se primeiramente a corrente gerada geradora da energia necessária recorrendo a equação (4.4), com o isolamento da corrente obtem-se:

$$I_{\text{need}} = \frac{E_{\text{need}}}{V_{\text{bat}}} = \frac{18840}{24} = 785 \text{ Ah/dia}$$

Da fórmula (4.7) e (4.7.1) com auxilio da tabela 4.1b obtem-se a corrente para cada mês, segundo a tabela 4.8 a baixo indicada:

Sendo  $f_r$  – o total de perdas (85%)

Tabela 4.8 Corrente necessária mensal para o consumo

Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
Dias do mes	31	28	31	30	31	30
Corrente( Ah/mês)	90040	81326	90039,5	87135	135059,3	174270
Mês	Julh	Ago	Set	Out	Nov	Des
Dias do mes	31	31	30	31	30	31
Corrente(Ah/mês)	225099	180079	174270	135059,3	87135	90039,5

## 6. CÁLCULO DO NÚMERO DE PAINÉIS NECESSÁRIOS PARA GERAR A ENERGIA NECESSÁRIA

Calcula-se o número de painéis a acrescentar devido as perdas necessários para fornecer a corrente desejada para garantir o carregamento das baterias pela equação (4.10) tendo em conta que  $I_{FV}$  deve ser diária.

Tabela 4.9 Número de painéis a acrescentar para o carregamento das baterias

Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
Dias do mês	31	28	31	30	31	30
n painéis	8	6	7	6	5	6
Mês	Julh	Ago	Set	Out	Nov	Des
Dias do mês	31	31	30	31	30	31
n painéis	13	9	9	7	4	4

Este valor de painéis a acrescentar tem em conta a necessidade de carregamento das baterias, uma vez que a corrente gerada deve ser superior a necessária para o consumo.

O numero total de painéis foto voltaicos necessários será o somatório dos painéis calculados sem ter em conta as perdas e o número de painéis acrescidos devido as perdas, de acordo com a tabela 4.9 a baixo:

Tabela 4.10 Número total de painéis necessários para garantir o fornecimento eléctrico da escola

Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
Dias do mês	31	28	31	30	31	30
n painéis	39	33	37	39	41	46
Mês	Julh	Ago	Set	Out	Nov	Des
Dias do mês	31	31	30	31	30	31
n painéis	47	38	36	34	26	27

Para garantir abastecimento de energia de acordo com a tabela 4.9 serão necessários 47 painéis

## 7. CÁLCULO TOTAL DA ÁREA OCUPADA PELOS PAINÉIS

Da fórmula (4.8) vem:

$$A = n \cdot l \cdot L = 47 \cdot 1.622 \cdot 0.814 = 62.1m^2$$

## 8. CÁLCULO DO NÚMERO DE BATERIAS NECESSÁRIAS

Aplicando a equação (4.12), obtém-se os valores dados na tabela 4.10 a baixo:

Tabela 4.11 Número de baterias necessárias para a reserva de corrente

Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
Dias do mês	31	28	31	30	31	30
n baterias	20	20	30	20	29	39
Mês	Julh	Ago	Set	Out	Nov	Des
Dias do mês	31	31	30	31	30	31
n baterias	49	39	39	29	20	20

Da tabela 4.11, para garantir abastecimento de energia tendo em conta os dias encobertos serão necessários 49 baterias de 24 volts cada.

## 9. DETERMINAÇÃO DO TEMPO DE CARREGAMENTO DAS BATERIAS

O tempo total de carregamento das baterias é avaliado pela fórmula (4.13)

Substituindo os valores correspondentes na equação acima referenciada tem-se:

Tabela 4.12 Tempo de carregamento das baterias

Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
Tempo carr.(Dias)	2,67	2,83	2,83	3,00	4,81	6,41
Mês	Julh	Ago	Set	Out	Nov	Des
Tempo carr.(Dias)	6,68	5,66	5,66	4,51	3,21	3,21

## 10. CÁLCULO DO SALDO ENERGÉTICO MENSAL

Aplicando a fórmula (4.14) com auxílio das tabelas 4.6, 4.10 e 4.8, tem-se os valores dados na tabela 4.13 a baixo descrita:

Tabela 4.13 Saldo de energia e de potencia mensal

Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
$\Delta E(\text{Wh/mês})$	7261.3	5809	5809	4356.75	2904.5	2904.5
$\Delta P(\text{W/mês})$	3035.3	2937.399	3340.46328	3684.45	4127.164	4653.702
Mês	Julh	Ago	Set	Out	Nov	Des
$\Delta E(\text{Wh/mês})$	7261.3	5809	5809	4356.75	2904.5	2904.5
$\Delta P(\text{W/mês})$	5671.7	4396	4213.69126	3802.017	2727.339	2774.71

#### 4.12. CONCLUSÃO

-Para garantir o abastecimento da energia necessária (18840Wh/mês) para alimentar o sistema de iluminação e aos consumidores de pequena resistência aplicando o sistema foto voltaico com o uso dos painéis solares SP140 serão necessário 47 painéis e 49 baterias de 24 volts com 150 Amperes cada.

- Nos meses de menor insolação são necessários maiores números de baterias, uma vez que nesses meses existem maiores dias encobertos, e com isso o número de baterias dimensionado deve garantir reserva energética para cobrir estes dias.

- De acordo com os valores indicados pelos saldos energéticos e de potencia dados na tabela 4.13, pode se concluir que para além dos consumidores de corrente de baixa resistência previstos (limitados), existe ainda uma capacidade de se instalar pequenos e poucos consumidores, um vez que os saldos de energia e de potência são positivos, desde que o máximo de exploração não torna os saldos negativos ( o pior caso possível deve ser tal que o saldo de energia seja nulo, mantendo positivo o saldo de potencia).

- Os benefícios ecológicos dos sistemas foto voltaicos são indiscutíveis, sendo esta grande vantagem que levam ao desenvolvimento dos estudos de sua utilização, como uma alternativa energética viável de pequena escala

#### 4.13 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [3] <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/eh/intro.html>
- [6] ENERGIAS RENOVÁVEIS NO MUNDO "CLÁUDIO MONTEIRO", Junho de 1996
- [7] AGENCIA DE REGULACIÓN ECONÓMICA ( ARE)
- [8] PÁGINA DO CRESESB NA INTERNET ([www.cresesb.com.br](http://www.cresesb.com.br))
- [9] FICHA DE APOIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS 2005 "Fatima Arthur"
- [10] A ENERGIA SOLAR NA HABITAÇÃO, P. R Sabaday, 3ª edição, 1979

## 5. ENERGIA EÓLICA

Energia eólica- é um dos tipos de energias renováveis que provém do movimento cinético das massas de ar provocadas pelo aquecimento desigual na superfície da terra [9]. Esta energia tem participação na sua formação fenômenos tais como: rotação da terra, mares atmosféricos, a radiação solar e outros.

Os cata ventos e barcos a vela são formas mais antigas do seu aproveitamento.

Uma das formas de utilização da energia do ar ( eólica) é a aplicação das turbinas de vento para conversão desta forma energética em energia eléctrica.

### 5.1 TURBINAS DE UTILIZAÇÃO PARA CAPTAÇÃO DO VENTO

As turbinas de uso corrente para este processo são de dois tipos: horizontais e verticais

Os nomes dos diferentes tipos de turbinas de vento dependem do seu tipo de construção geométrica e da aerodinâmica das pás [6].

#### 5.1.1 TURBINAS HORIZONTAIS

São as turbinas com eixo horizontal. Estas turbinas tem o rotor com a configuração semelhante as asas dos aviões convencionais.

O vento ao incidir frontalmente as pás, muda de direcção frequentemente sem que o rotor sofra oscilações consideráveis.

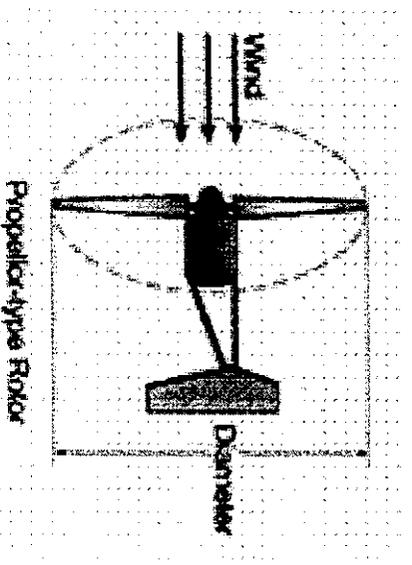


Figura 5. 1 Representação de turbina horizontal. FONTE: Extraído de [6]

A figura a baixo representa diferentes configurações das máquinas de vento para turbinas horizontais

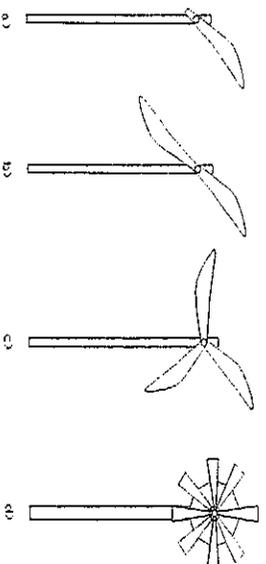


Figura. 5.2. Diferentes configurações das pás de turbinas de vento horizontais

a) Turbina com uma pá ,b) Turbina com duas pás,c) Turbina com três pás, d) Turbina com pás múltiplas. Extraído de [6]

### 5.1.2 TURBINAS DE VENTO VERTICAIS

Estas turbinas se designam verticais porque o seu eixo é vertical e o rotor gira em torno deste eixo. Estes tipos de turbinas podem aceitar o fluxo do vento em todas direcções sem necessitar de qualquer ajuste.

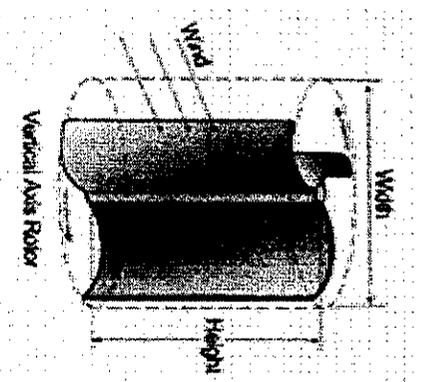


Figura 5.3 Representação de turbina vertical. Extraído de [6]

### 5.2 IMPACTOS AMBIENTAIS DA TURBINA

- Ruído;
- Perigo Para aves;
- Por causa do uso de baterias como armazenadores de corrente se torna poluente ao ambiente
- Pode perigar o tráfego aéreo.

### 5.3 ALGUMAS APLICAÇÕES DA TURBINA

- São aplicados como cata ventos;
- Navegação nos barcos a vela;
- São usados como moinhos de vento;
- Construção de bombas de elevação de água;
- Etc...

### 5.4 DENSIDADE EÓLICA

Por causa da variabilidade dos ventos, a equação de cálculo da potência do vento deveria ser usada somente para velocidades de vento instantânea e não para médias de longo termo [9].

Na realidade o vento varia constantemente. A densidade de potência eólica é na maior parte dos lugares entre 1.7 a 3 vezes maior do que a calculada partir do valor de velocidade média do vento. Por esta razão a grandeza densidade de potência eólica é utilizada como termo de comparação dos potenciais eólicos de diversas localizações geográficas.

$$\frac{W}{A} = 0.625 \times v^3 \text{ [Watts / m}^2 \text{]} \quad (5.1)$$

A densidade eólica explica o conteúdo energético resultante das diferentes variações da velocidade do vento no local.

A densidade eólica é determinada pela fórmula a baixo indicada:

$$DE = \int_2^1 \cdot v^3 \cdot \rho \text{ em [W/m}^2 \text{]} \text{ por mês} \quad (5.2)$$

### 5.5 CÁLCULO DOS PARÂMETROS EÓLICOS

Segundo [6], o cálculo dos parâmetros eólicos se resume nas fórmulas a baixo descritas:

#### Potência eólica

A potencia eólica é calculada pela seguinte fórmula:

$$W_{\text{elíica}} = 0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad [\text{W}] \quad (5.3)$$

Onde:

A - é a área do rotor [m<sup>2</sup>]

W — é a potência elíica da turbina. [W]

V - é a velocidade do vento no local [m/s]

$\rho$  - é a densidade do ar [kg/m<sup>3</sup>]

### Potencia disponível

$$P_{\text{disp}} = DE_2 \cdot A \cdot \eta \quad [\text{W}] \quad (5.4)$$

$$P_{\text{disp}} = DE_2 \cdot \eta \quad [\text{W/m}^2] \quad (5.4.1)$$

Com a potência disponível pode conhecer a disponibilidade energética pela fórmula:

$$E_{\text{disp}} = P_{\text{disp}} \cdot t \quad (5.5)$$

Sendo  $t$  o tempo em horas

### Potencia teórica

A potência teórica é aquela que existe no vento, determina-se pela fórmula seguinte:

$$P_{\text{teo}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 = DE \cdot A \quad [\text{W}] \quad (5.6)$$

Para condições normais em que  $\rho_{\text{ar}} = 1.12$  a potência teórica avalia-se pela fórmula:

$$P_{\text{teo}} = 0.625 \cdot A \cdot v^3 \quad [\text{W}] \quad (5.7)$$

### Potencia real

Nem toda a potência disponível pelo vento se consegue obter pois alguma parte dela e perdida, conseguindo-se com isso adquirir apenas parte da mesma o que constitui a chamada potencia real que matematicamente se calcula pela fórmula seguinte:

$$P_{\text{real}} = P_{\text{teo}} \cdot \eta \quad [\text{W}] \quad (5.8)$$

Onde:

$\eta$  - é a eficiência da turbina.

Numa turbina real de acordo com BETZ, só se pode obter uma eficiência no máximo de 59.3% ( $\eta \leq 59,3\%$ )

### Rendimento da turbina

Calcula-se pela seguinte relação:

$$\eta = \frac{P_{total}}{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3_{ar}} \quad [\%] \quad (5.9)$$

### Relação entre a densidade eólica e a velocidade do vento

Sendo o ponto 1 local padrão de medição e ponto 2 local real de instalação da turbina, as densidades eólicas podem ser determinadas pelas seguintes fórmulas:

$$DE_1 = \frac{P_{disp}^{h_1}}{A_{rotor}} = 0.625 \cdot v_1^3 \quad [W/m^2] \quad (5.10)$$

$$DE_2 = \frac{P_{disp}^{h_2}}{A_{rotor}} = 0.625 \cdot v_2^3 \quad [W/m^2] \quad (5.11)$$

A relação das densidades para os dois níveis será:

$$DE_2 = DE_1 \cdot \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^{3n} \quad [W/m^2] \quad (5.12)$$

A Potência real da turbina eólica será dada pela fórmula:

$$P_{real_{disp}} = P_{rod} \cdot \eta = DE_1 \cdot \left( \frac{h_2}{h_1} \right)^{3n} \cdot A_{rotor} \cdot \eta \quad [W] \quad (5.13)$$

### Velocidade real do vento

A velocidade real do vento  $v_x$  a uma dada altura de instalação da turbina  $h_x$  medida a uma altura standard  $h$  é dada pela fórmula seguinte:

$$v_x = v \cdot \left( \frac{h_x}{h} \right)^n \quad [m/s] \quad (5.14)$$

Onde:

$n$  — é o coeficiente de rugosidade do local.

Tabela 5.1 Coeficiente de rugosidade FONTE: Extraído de [6]

Zona	Coef.de rugosidade
Areia, superfícies do oceano	0.1
Capim, relva baixa, terreno descoberto	0.16
Capim alto, culturas de alturas baixas	0.18
Culturas de alturas elevadas ou florestas baixas	0.20
Florestas altas	0.30
Subúrbios arborizados e pequenas cidades	0.45

### Velocidade da turbina a potencia máxima

$$v_{max} = \sqrt[3]{\frac{P_{max}}{0.625 \cdot A_{rot} \cdot \eta}} \quad [\text{m/s}]$$

(5.15)

### Coefficiente de Rayleigh

Este coeficiente traduz de modo mais aproximado a distribuição da velocidade do vento no local, uma vez que esta não é constante.

$$C_{Ray} = \frac{DE}{0.5 \cdot 1.12 \cdot v^3 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{s}^3}}$$

(5.16)

Tabela 5.2 variação do Coeficiente de Rayleigh com a velocidade do vento. Extraído de [6]

Velocidade do Vento	Coef. de Rayleigh
3.0	1.59
3.5	1.73
4.0	1.80
4.5	1.85
5.0	1.87
5.5	1.89
6.0	1.89
6.5	1.89
7.0	1.89

**Área do rotor da turbina (área de trabalho)**

A área do rotor na maior parte das turbinas é circular, e calculada pela equação:

$$A_{rot} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \quad [m^2] \quad (5.17)$$

No caso de rotores de turbinas verticais, a área é calculada pela equação:

$$A = h \times L \quad [m^2] \quad (5.18)$$

onde h é a altura e L a largura do rotor.

**Saldo energético e de potência**

O saldo de potência calcula-se pela fórmula:

$$\Delta P = P_{disp} - P_{need} \quad (5.19)$$

Saldo energético determina-se pela fórmula:

$$\Delta E = E_{disp} - E_{need} \quad (5.20)$$

**Cálculo de abastecimento eólico**

- A turbina a ser usada será horizontal tipo BERGEY XL.1 com as características dadas na tabela a baixo:

- O potencial eólico e a densidade eólica da zona estão indicados a baixo:

Tabela 5.3 Parâmetros eólicos do local. Fonte extraída do serviço de Meteorologia de Maputo

Meses do ano	Vel.do vento(Km/h)		
	1941-1970	1997	1998
Janeiro	12,8	11,8	9,5
Fevereiro	12,5	8,8	10,73
Marco	11,2	7,7	9,9
Abril	11	6,6	8,1
Maió	10,9	8	8,8
Junho	11	6,9	7,8
Julho	11,6	6,7	8,7
Agosto	12,9	7,9	9,5
Setembro	13,6	7,5	9,2
Outubro	13,6	10,2	10,3
Novembro	13,1	10	10,3
Dezembro	13,2	10	10,3

Tomando os valores da tabela 6.4 referentes ao ano de 1998 com velocidade do vento em m/s e a densidade eólica calculada com base na equação (6.10), tem-se:

Tabela 5.4 Valores da Densidade eólica  $DE_1$  e velocidade do vento  $V_1$

Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
Veloc. do vento (m/s)	2,64	2,75	2,25	2,75	2,44	2,17
Dens.eólica (W/m <sup>2</sup> )	11,5	13	7,12	13	9,08	6,39
Mês	Julh	Ago	Set	Out	Nov	Des
Veloc. do vento (m/s)	2,42	2,56	2,86	2,86	2,86	2,9
Dens.eólica (W/m <sup>2</sup> )	8,86	10,49	14,62	14,62	14,62	15

### Outros dados adicionais

- As baterias a serem usadas são de 24V e 150 amperes cada;
- Assume-se que as perdas totais chegam a atingir cerca de 85%
- O factor de rugosidade da zona é  $n = 0.45$  (pois se trata de uma zona suburbana)
- Necessidade energética  $E_{need} = 18840 \text{Wh/dia}$
- Os valores eólicos teóricos ( velocidade e a densidade eólica do vento foram medidos a uma altura teórica  $h_1 = 10$  metros

Para o cálculo do sistema energético segue-se a sequência seguinte:

#### 1- ESCOLHA DO TIPO DE TURBINA

Atendendo o tipo de construção, rendimento associado a maior área de captação do vento e o baixo custo relativo turbina, escolhe-se a turbina horizontal. Estas turbinas são menos pesadas em comparação com as verticais que constitui mais uma vantagem embora de sem muita relevâncias.

- A turbina a ser usada será horizontal tipo BERGEY XL.1

#### 2- CARACTERISTICAS DA TURBINA PRE-SELECIONADA

A tabela a baixo ilustra as características da turbina

Mês	Julh	Ago	Set	Out	Nov	Des
Horas	744	744	720	744	720	744
$P_{disp} (W/m^2)$	1,6391	1,94065	2,7047	2,7047	2,7047	2,775
$P_{disp} (W)$	52,69707	62,3918975	86,95611	86,95611	86,95611	89,21625
$E_{disp} (Wh/mês)$	39206,62	46419,5717	62608,4	64695,34	62608,4	66376,89

### 5- CÁLCULO DO SALDO ENERGÉTICO E DA POTÊNCIA

O Cálculo do saldo energético e da potência mensal é feito com ajuda das fórmulas (5.18) e (5.19)

Tabela 5.8 Saldo de potência e de energia

Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
$\Delta P (W)$	34,63568	43,5573091	7,459091	43,55731	20,24213	3,117234
$\Delta E (Wh/dia)$	1033,837	1247,95606	375,8241	1289,555	688,3917	284,1469
Mês	Julh	Ago	Set	Out	Nov	Des
$\Delta P (W)$	18,93362	28,6284566	52,06722	53,19266	52,06722	55,45281
$\Delta E (Wh/dia)$	656,9876	889,663605	1458,947	1479,205	1458,947	1533,448

### 6. QUANTIDADE DE BATERIAS NECESSÁRIAS

Pela fórmula (4.12), tem-se os valores dados na tabela 5.9 a baixo

Tabela 5.9 Número de baterias necessárias para garantir o fornecimento energético contínuo.

Mês	Jan	Fev	Marc	Abr	Mai	Jun
Dias de autonomia	2	2	2	2	3	4
n de bater	9	9	9	9	14	18
Mês	Julh	Ago	Set	Out	Nov	Des
Dias de autonomia	5	4	4	3	2	2
n de bater	23	18	18	14	9	9

## 5.6. CONCLUSÃO

- Para satisfazer a necessidade energética para o sistema de iluminação da Escola e alimentação de alguns consumidores de baixa potência serão necessários aplicando o sistema foto voltaico serão necessários 23 baterias de 24 volts e 150 Amperes cada, com o uso de uma turbina horizontal de 10000W, com diâmetro do rotor de 6.4 metros (ver tabela 5.9).
- De acordo com os valores indicados pelos saldos energéticos e de potencia dados na tabela de cálculo de saldos( ponto 5), pode se concluir que para além dos consumidores de corrente de baixa resistência previstos (limitados), existe ainda uma capacidade de se instalar mais consumidores, um vez que os saldos de energia e de potência são positivos, desde que o máximo de exploração não torna os saldos negativos.
- Nos meses de menor insolação são necessários maiores números de baterias, uma vez que nesses meses existem maiores dias encobertos, e com isso o número de baterias dimensionado deve garantir reserva energética para cobrir estes dias, de modo a garantir o fornecimento continuo de corrente.

## 5.7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [5] RENEWABLE ENERGY RESOURCES, "John Twidell e Toy Weir", Second edition
- [6] PÁGINA DO CRESESB NA INTERNET ([www.cresesb.com.br](http://www.cresesb.com.br))
- [9] A ENERGIA SOLAR NA HABITAÇÃO, P. R Sabadu, 3ª edição, 1979
- Arquivo de dados meteorológicos 'Serviços de Meteorologia de Maputo', 1998

## **6. CONCLUSÃO GERAL**

O índice de contaminação ao meio ambiente, causada pelas energias renováveis é muito reduzido, o que torna uma grande aposta para vida humana no futuro por vir. Daí que o estudo da sua utilização esta sendo desenvolvido no mundo actual. A outra grande vantagem destes tipos de energias que constituem apostas para vida futura é de serem renováveis ou seja são praticamente inesgotáveis.

As energias renováveis são aplicáveis para consumidores de baixa resistência

## **7. RECOMENDAÇÕES**

Para o projecto de abastecimento eléctrico pela recorrência das energias renováveis deve se ter em conta o seguinte:

- 1- Para o sistema foto voltaico, onde há necessidade de armazenar energia eléctrica, deve se tomar como padrão de dimensionamento os meses de menor insolação, de modo a se garantir que se forneça energia sem interrupções( se bem que é imperindível a ausência de energia no geral) nos dias encobertos.
- 2- Para o sistema eólico, deve se tomar como padrão os dados fornecidos pela época ou mês onde se regista fraca intensidade do vento de forma a garantir a reserva energética suficiente para toda as necessidades.

## 8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- [1] TEXTO "MÓDULO SOBRE ENERGIAS RENOVÁVEIS", Prof. Doutor BoaventuraChongo Cuamba
- [2] RENEWABLE ENERGY RESOURCES, John Twidell and Tony Weir 2a edição
- [3] [http:// www.eia.doe.gov/emeu/ae/eh/intro.html](http://www.eia.doe.gov/emeu/ae/eh/intro.html)
- [4] PÁGINA DO CBEE NA INTERNET ([WWW/ Aondevamos.energias renováveis.com.br](http://WWW.Aondevamos.energias renováveis.com.br))
- [5] RENEWABLE ENERGY RESOURCES, "John Twidell e Toy Weir", Second edition
- [6] ENERGIAS RENOVÁVEIS NO MUNDO "CLÁUDIO MONTEIRO", Junho de 1996
- [7] AGENCIA DE REGULAÇÃO ECONÓMICA ( ARE)
- [8] PÁGINA DO CRESESEB NA INTERNET ([www.cresesb.com.br](http://www.cresesb.com.br))
- [9] FICHA DE APOIO DE ENERGIAS RENOVÁVEIS 2005 "Fatima Arthur"
- [10] A ENERGIA SOLAR NA HABITAÇÃO, P. R Sabady, 3ª edição, 1979