



**Universidade Eduardo Mondlane**

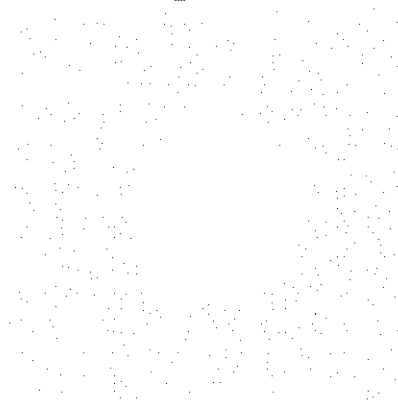
**Faculdade de Ciências**

**Departamento de Física**

**Trabalho de Licenciatura**

**Tema:**

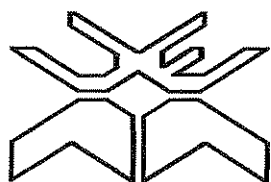
**Estudo do Comportamento da Radiação Solar na Região de  
Maputo**



**Autor:**

**António Osvaldo Safde**

*Maputo, Julho de 1999*



**Universidade Eduardo Mondlane**

**Faculdade de Ciências**

**Departamento de Física**

**Trabalho de Licenciatura**

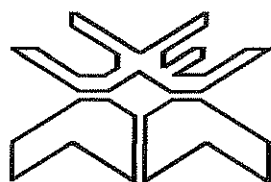
**Tema:**

**Estudo do Comportamento da Radiação Solar na Região de  
Maputo**

**Autor:**

**António Osvaldo Saíde**

*Maputo, Julho de 1999*



**Universidade Eduardo Mondlane**

**Faculdade de Ciências**

**Departamento de Física**

**Trabalho de Licenciatura**

**Tema:**

**Estudo do Comportamento da Radiação Solar na Região de  
Maputo**

**Supervisor:**

**Prof. Doutor Boaventura Chongo Cuamba**

*Maputo, Julho de 1999*

Aos meus pais

Amós Osvaldo Saíde e Berta Avice Alfredo

e meus irmãos

Joaquim Ângelo Osvaldo Saíde

Mouzinho de Assunção Osvaldo Saíde

Adérito Alfredo Osvaldo Saíde

Janete Cristina Osvaldo Saíde

e

Mequelina Cesária Osvaldo Saíde

[ ... que este servo, seja sempre servo... ]

## **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Este trabalho foi completamente realizado com base no material que ao longo do mesmo se faz referência. As ideias originais nele expressas, são de inteira responsabilidade do autor.

Maputo, Julho de 1999

O autor

---

**(António Osvaldo Saíde)**

## AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho foi possível graças ao apoio de todos aqueles que acreditaram na minha formação.

Em primeiro plano, manifesto a minha gratidão pela confiança que me foi concedida pelo meu supervisor, Prof. Doutor Boaventura Chongo Cuamba para realiação deste trabalho sob sua supervisão, pela sua grande atenção e rigor nos aspectos técnicos, pela contribuição didáctica e científica e pela disposição do equipamento para o processamento dos dados. De mesmo modo ao dr Chenene pela sua forte contribuição e colaboração na revisão deste.

Registo a gratificante abertura do Prof. Doutor Rogério Utui e dr. Víctor Saide, por me terem galvanizado e iluminado a apostar nesta formação, mostrando-me em perspectiva a importância do curso.

O meu agradecimento, ao Chefe do departamento de Física, dr. Hermínio pela resolução de problemas e apoio didáctico durante a realização do trabalho; ao corpo docente que ao longo destes anos se dedicou bastante na transmissão de conhecimentos, que culmina com a realização deste trabalho; ao C.T.A. do departamento nomeadamente, o senhor Santos pela ajuda e zelo prestado na disponibilização do material e equipamento de processamento dos dados; a senhora Rosa e o senhor Baptista pela grande amabilidade e facilitação do material bibliográfico ao longo do curso e durante o trabalho; a senhora Etelvina, a senhora Otilia e o senhor Jorge pelo apoio moral e flexibilidade na resolução de alguns assuntos.

Devo, naturalmente, agradecer ao corpo técnico do INAM nomeadamente, o senhor Quissico, o senhor Augusto e o senhor Vasco, que a todo momento estiveram disponíveis a ceder o material para o trabalho; ao senhor Manuel Boane que sempre se disponibilizou para manutenção do equipamento de trabalho. Ao dr Custódio Boane pela atenção e preocupação no acompanhamento da minha formação; a dr Ana Costa, dr Gilberto Mahumane, dr Naran, dr Mavume e dr Queface pelo grande apoio em críticas construtivas e observações no conteúdo do trabalho, como também pelos arranjos finais.

A minha gratidão aos meus colegas Cândida Cumbe, Zucule, Uaissone, Lima, dr Nhanala, Mahoche, Malate, Cândida Sete, pela força moral nos momentos difíceis da formação; as minhas cunhadas Alda, Carla e Irene, pela grande atenção, calor e carinho durante a formação; aos meus amigos e familiares Romão, Víctor, João, Iazalde, Tavares, Adérito, Nhezi e em especial a Tânia, pelo aconchego e apoio moral durante toda caminhada; ao pessoal do Stadep, pelo seu grande apoio. Ao Senhor.

## RESUMO

O estudo da radiação solar é de extrema importância para fins de pesquisa climática e também de aproveitamento de energia solar. O presente trabalho enquadra-se nos esforços que estão a ser empreendidos ao nível do Departamento de Física com vista a proceder-se o mapeamento da radiação da solar e outros recursos energético renováveis em Moçambique. O seu objectivo consistiu na determinação das componentes da radiação solar, do coeficiente de transparência da atmosfera terrestre e no cálculo da radiação solar a partir da insolação na região de Maputo.

Este estudo revela que a componente directa da radiação solar na região de Maputo representa cerca de 65% da radiação global e, conseqüentemente a componente difusa contribui com cerca de 35%.

O valor do coeficiente de transparência nesta região é cerca de 0.60. Este comportamento da radiação é compreensível na medida em que Maputo localiza-se junto a costa e, por isso, a sua humidade é alta. O valor médio do coeficiente de transparência de Chókwè, por exemplo, que se localiza no interior é de cerca de 0.75, portanto maior que na região junto a costa.

O cálculo da radiação solar a partir da insolação foi baseado no modelo de Angstrom. Os resultados obtidos revelam que há uma grande concordância entre o comportamento teórico e os valores medidos.

## ÍNDICE

RESUMO.....	1
1.INTRODUÇÃO.....	3
2.FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....	4
2.1. RADIAÇÃO ELECTROMAGNÉTICA.....	4
2.1.1. <i>Introdução.</i> .....	4
2.1.2. <i>Densidade do Fluxo Radiante.</i> .....	7
2.1.3. <i>Absorção, Reflexão e Transmissão da Radiação.</i> .....	8
2.1.4. <i>Teoria do Corpo Negro, Emitância e Leis de Kirchhoff.</i> .....	9
2.1.5. <i>Radiação Emitida pelo Corpo Negro</i> .....	10
2.2. RADIAÇÃO SOLAR .....	12
2.2.1. <i>Generalidades</i> .....	12
2.2.2. <i>Geometria da Terra e do Sol.</i> .....	12
2.2.3. <i>Componentes da Radiação Solar</i> .....	15
2.2.4. <i>Latitude, Época e Insolação.</i> .....	17
2.2.5. <i>Variação Horária da Radiação Solar.</i> .....	17
2.2.6. <i>Radiação Solar Extraterrestre.</i> .....	18
2.2.7. <i>Efeitos da Atmosfera Terrestre</i> .....	21
2.2.8. <i>Estimativa da Radiação Solar.</i> .....	22
2.2.9. <i>Medição da Radiação Solar.</i> .....	24
2.2.9.1. <i>Instrumentos de Medição das Componentes da Radiação Solar</i> .....	24
2.2.9.2. <i>Instrumentos de medição da insolação</i> .....	25
3. METODOLOGIA.....	25
3.1. COMPORTAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR.....	26
3.2. COEFICIENTE DE TRANSPARÊNCIA DA ATMOSFERA TERRESTRE.....	26
3.3. CÁLCULO DA RADIAÇÃO SOLAR A PARTIR DA INSOLAÇÃO. ....	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO. ....	27
4.1. ANÁLISE DOS DADOS.....	27
4.2. CÁLCULO DE ERROS.....	35
4.2.1. <i>Cálculo de Erros da Radiação Directa.</i> .....	35
4.2.2. <i>Cálculo de Erros de Coeficiente de Transparência.</i> .....	35
4.2.3. <i>Cálculo de Erros da Radiação Calculada Apartir da Insolação</i> .....	35
5. CONCLUSÕES.....	35
6. RECOMENDAÇÕES.....	37
7.LITERATURA.....	38
8.ANEXO.....	40
8.1.ANEXO 1 .....	40
8.2.ANEXO 2 .....	43
8.3.ANEXO 3 .....	48
8.4.ANEXO 4 .....	51
8.5.ANEXO 5 .....	55



## 1.INTRODUÇÃO

O sol é um gigantesco reactor termonuclear com um diametro de cerca de  $1.39 \cdot 10^9$  m e dista em média em  $1.5 \cdot 10^{11}$  m da terra. Este corpo celeste emite radiação a partir da sua superfície à temperatura de cerca de 6000K. A radiação inclui-se na porção da radiação electromagnética que compreende deste os comprimentos de onda de 0.25 à 3.0  $\mu\text{m}$ .

Esta radiação tem sido objecto de estudo em todo globo terrestre, pois contribui grandemente no desenvolvimento de pesquisas para fins meteorológicos, como também para fins de energia. Têm sido desenvolvidos vários modelos de estudo da radiação solar.

A radiação solar é uma fonte de energia renovável, com um papel importantíssimo no desenvolvimento de um país, principalmente nos países em vias de desenvolvimento tal como o nosso. Esta fonte renovável trás consigo uma larga vantagem pelo facto da sua utilização não causar poluição ambiental.

Moçambique tem elevados índices de radiação solar, em média 5 vezes mais a média da radiação solar global recebida pela esfera terrestre no geral, que é cerca de  $1.0 \text{kWm}^{-2}$  por dia solar.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INAM), é a entidade responsável pelo registo dos dados da radiação solar. Os valores da insolação vêm sendo registados desde 1909, a radiação global 1955 e a radiação difusa e directa 1963. Este, na sua estação actinométrica principal de Maputo tem desenvolvido o processamento dos dados da radiação solar para fins como: Clima, construção civil, agricultura, saúde e informação ( boletim à nível da África Austral).

No âmbito da energia solar várias pesquisas têm sido feitas, mais concretamente no Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane, com o intuito de levar avante a aplicação e promoção desta área. O programa de pesquisa nesta área vem desde 1991, através do projecto de instalação e monitorização de um sistema de bombeamento de água usando o efeito fotovoltaico, com capacidade de 848  $\text{W}_p$ , no campus universitário da U.E.M.. Este projecto foi iniciado em 1993 e integrado no sistema de monitoração em 1994. O objectivo destas pesquisas, é desenvolver um modelo de transferência de tecnologia fotovoltaica eficiente em países em vias de desenvolvimento numa forma geral, e de Moçambique em particular. Dentro deste projecto, realizou-se uma pesquisa de dados colectados na estação no campus universitário da U.E.M.(1997-1998), com o objectivo de estudar a eficiência das células solares de silício cristalino e analisar a respectiva degradação com as condições ambientais e ainda uma outra com o objectivo de estudar o comportamento da estação de bombeamento de água em condições ambientais locais. O presente

trabalho, dentro destas pesquisas, tem como objectivo estudar o comportamento da radiação solar na região de Maputo. O mesmo poderá facilitar posteriores estudos para instalação de sistemas de energia solar em vários locais do nosso país.

## 2.FUNDAMENTOS TEÓRICOS

### 2.1. RADIAÇÃO ELECTROMAGNÉTICA

#### 2.1.1. Introdução.

As superfícies emitem energia em forma de radiação electromagnética de acordo com as leis fundamentais da física [1,2,3]. As várias formas de radiação electromagnética propagam-se no vácuo à mesma velocidade, mas podem diferir em frequências e em comprimentos de onda. Esta diferença é suficiente para explicar a diversidade de fenómenos observados quando a energia radiante interage com a matéria. Os vários tipos de energia radiante têm como origem comum cargas em movimento não uniforme. Estas cargas criam o campo eléctrico  $\mathbf{E}$  e o campo magnético  $\mathbf{B}$  perpendiculares entre si e perpendiculares ao sentido de propagação da onda, veja fig.2.1.

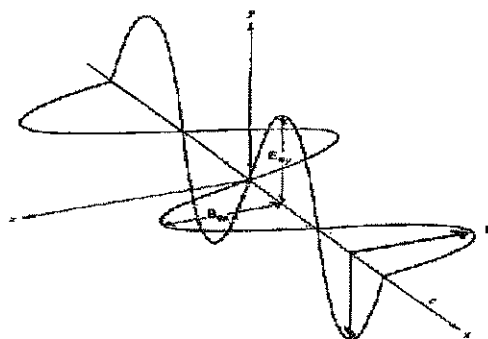


Fig.2.1 Campos eléctrico  $\mathbf{E}$  e magnético  $\mathbf{B}$ , perpendiculares entre si[1].

Os campos  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{B}$  devem pois ser considerados como dois aspectos do mesmo fenómeno, o *campo electromagnético*, cuja fonte é constituída por cargas em movimento. A este movimento dos campos eléctrico e magnético denominamos de ondas electromagnéticas. O tratamento científico das ondas electromagnéticas, é feito através das *equações de Maxwell*, que em geral são descritas na forma integral assim [1]:

$$\oint_{\mathcal{L}} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = - \iint_{\mathcal{A}} \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} \quad (2.1)$$

$$\oint_{\mathcal{L}} \frac{\mathbf{B}}{\mu} \cdot d\mathbf{l} = \iint_{\mathcal{A}} \left( \mathbf{J} + \varepsilon \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \right) \cdot d\mathbf{S} \quad (2.2)$$

$$\oiint_{\mathcal{A}} \varepsilon \mathbf{E} \cdot d\mathbf{S} = \iiint_{\mathcal{V}} \rho dV \quad (2.3)$$

e

$$\oiint_{\mathcal{A}} \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0, \quad (2.4)$$

onde  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{B}$  são os vectores dos campos eléctricos e magnéticos respectivamente,  $d\mathbf{l}$  é o elemento infinitesimal do comprimento  $l$ ,  $d\mathbf{S}$  é o elemento infinitesimal da superfície  $S$ ,  $dV$  é o elemento infinitesimal do volume  $V$ ,  $\mathbf{J}$  é densidade da corrente,  $\rho$  é densidade de carga,  $\varepsilon$  é permitividade eléctrica e  $\mu$  é permiabilidade magnética do meio. Estas equações de Maxwell estão escritas no sistema internacional. As equações de Maxwell podem ser escritas numa forma diferencial, que permitem uma descrição mais simples dos aspectos ondulatórios do campo electromagnético. A transformação dos dois conjuntos de equações é feita com auxílio de dois teoremas bem conhecidos do cálculo vectorial, designadamente, o teorema de Gauss e o teorema de Stokes [1].

$$\oiint_{\mathcal{A}} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{S} = \iiint_{\mathcal{V}} \nabla \cdot \mathbf{F} dV \quad (2.5)$$

e

$$\oint_{\mathcal{L}} \mathbf{F} \cdot d\mathbf{l} = \iint_{\mathcal{A}} \nabla \times \mathbf{F} \cdot d\mathbf{S}. \quad (2.6)$$

O vector  $\mathbf{F}$  não deve ser considerado como um vector constante mas sim como uma função que depende de variáveis de posição. Trata - se basicamente de um operador que assume um vector bem definido  $\mathbf{F}(x,y,z)$  - em coordenadas cartesianas, por exemplo – a cada ponto do espaço de coordenadas  $(x,y,z)$ . Funções deste tipo, tais como  $\mathbf{E}$  e  $\mathbf{B}$ , são referidos como campos vectoriais. Aplicando os teoremas acima referidos nas equações (2.1), (2.2), (2.3) e (2.4) obtém-se:

$$\nabla \times \mathbf{E} = - \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}, \quad (2.7)$$

$$\nabla \times B = \mu \left( J + \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \right). \quad (2.8)$$

$$\nabla \cdot E = \rho / \varepsilon. \quad (2.9)$$

e

$$\nabla \cdot B = 0. \quad (2.10)$$

As equações (2.7), (2.8), (2.9) e (2.10) representam as equações de Maxwell na forma diferencial. Aplicando o duplo produto vectorial obtém-se as equações das ondas:

$$\nabla^2 B - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 B}{\partial t^2} = 0 \quad (2.11)$$

e

$$\nabla^2 E - \mu\varepsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} = 0. \quad (2.12)$$

As equações (2.11) e (2.12) descrevem as equações de onda electromagnética segundo a teoria electromagnética de Maxwell.

O *espectro electromagnético* compreende desde a banda das ondas de radiofrequência à banda dos raios gama, veja fig.2.2.

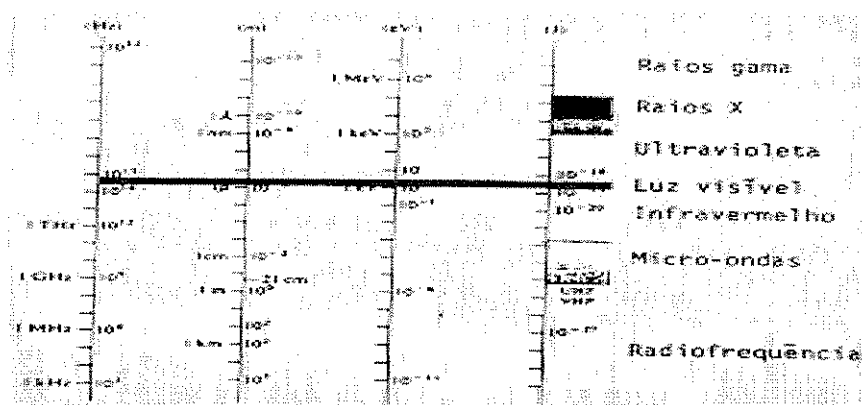


Fig.2.2 Espectro electromagnético[1].

As ondas de radiofrequência caracterizam-se com frequência desde alguns Hertz até aproximadamente 10<sup>9</sup> Hz ( comprimento de onda λ de muitos quilómetros até mais ou menos 30 cm); a região das *micro-ondas* estende-se desde 10<sup>9</sup> Hz até aproximadamente 3.10<sup>11</sup> Hz e os comprimentos de

onda correspondentes variam entre os 30 cm e 1.0 mm; o *infravermelho* estende-se dos  $3 \cdot 10^{11}$  Hz até os  $4 \cdot 10^{14}$  Hz . O infravermelho subdivide-se em quatro regiões: O infravermelho próximo, i.e., próximo do visível (780- 3000nm), o infravermelho intermédio (3000- 6000nm), o infravermelho térmico (6000- 15000nm) e o infravermelho longuíquo (15000- 1.0mm ), trata-se de uma divisão muito pouco precisa e não existe uma nomenclatura universalmente aceite; a *luz visível*, corresponde à radiação electromagnética numa gama reduzida de frequências entre cerca de  $3.84 \cdot 10^{14}$  Hz e  $7.69 \cdot 10^{14}$  Hz; adjacente à luz visível no espectro electromagnético encontra-se a região da radiação *ultravioleta* ( aproximadamente de  $8 \cdot 10^{14}$  Hz até cerca de  $3.4 \cdot 10^{16}$  Hz ), a energia dos fotões desta banda varia entre os 3.2 eV e os 100eV; os *raios X* estendem-se em frequências entre cerca de  $2.4 \cdot 10^{16}$  Hz e  $5 \cdot 10^{19}$  Hz, os raios X têm comprimentos de onda extremamente reduzidos, quase sempre inferior ao diâmetro atómico, a energia dos fotões ( 100 eV e 0.2 MeV ) é suficientemente elevada para que os fotões possam interagir com a matéria de um modo claramente corpuscular, quase como pequenos pacotes de energia; os *raios gama* são as radiações electromagnéticas mais energéticas (  $10^4$  eV até  $10^{19}$  eV ) e com menor comprimento de onda.

Neste capítulo serão tratadas as propriedades da radiação electromagnética, com vista à introduzir sua utilização para o estudo da *radiação solar*, que é parte integrante da radiação electromagnética entre os comprimentos de onda desde a banda da radiação ultravioleta à banda do infravermelho próximo.

### 2.1.2. Densidade do Fluxo Radiante.

As grandezas características das ondas electromagnéticas são a frequência  $f$ , velocidade  $c$  e comprimento de onda  $\lambda$ ; e tem a ligação entre si assim:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2.13)$$

O fluxo de energia por unidade de área é a densidade de fluxo radiante, e designamos por  $\Phi$

$$\Phi = \frac{P}{A}, \quad (2.14)$$

onde P é a potência radiada recebida e A a área da superfície irradiada.

A unidade da densidade do fluxo radiante é:

$$[\Phi] = Wm^{-2}. \quad (2.15)$$

A variação da densidade de fluxo radiante com o comprimento de onda  $\lambda$ , que designamos de densidade de fluxo radiante espectral  $\Phi_\lambda$ , defini-se matematicamente assim:

$$\Phi_\lambda = \frac{P}{A \bullet \lambda}; [\Phi_\lambda] = (Wm^{-2})\mu m^{-1}, \quad (2.16)$$

a integração de  $\Phi_\lambda$  dá-nos a densidade total de fluxo radiante,

$$\Phi = \int \Phi_\lambda d\lambda. \quad (2.17)$$

### 2.1.3. Absorção, Reflexão e Transmissão da Radiação.

A radiação recebida pela matéria pode ser absorvida, reflectida ou transmitida, isto depende das propriedades do material, do comprimento de onda da radiação e do ângulo de incidência  $\theta$ .

Tomando em consideração um material incidido por uma radiação de comprimento de onda  $\lambda$ , defini-se absorptância monocromática  $\alpha_\lambda$  como sendo a fracção absorvida da densidade de fluxo radiante incidente, analogamente defini-se a reflectância monocromática  $\rho_\lambda$  como sendo a fracção reflectida da densidade de fluxo radiante incidente e ainda defini-se a transmitância monocromática  $\tau_\lambda$  como a fracção transmitida da densidade de fluxo radiante incidente.

$$0 \leq \alpha_\lambda, \rho_\lambda, \tau_\lambda \leq 1. \quad (2.18)$$

Pelas leis de conservação temos:

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1, \quad (2.19)$$

estas grandezas dependem das propriedades da superfície.

Tendo em conta que a radiação é absorvida sob diferentes comprimentos de onda  $\lambda$  defini-se assim:

$$\alpha = \frac{\Phi_{abs}}{\Phi_{inc}}, \quad (2.20)$$

vê-se que  $\Phi_{abs} \leq \Phi_{inc}$  daí que temos:

$$\alpha = \frac{\int \alpha_{\lambda} \Phi_{\lambda inc} d\lambda}{\int \Phi_{\lambda inc} d\lambda}, \quad (2.21)$$

por analogia de (2.21) defini-se  $\rho$  e  $\tau$ .

#### 2.1.4. Teoria do Corpo Negro, Emitância e Leis de Kirchhoff.

No caso limite de um absorvedor perfeito, ou seja, de um corpo que absorve toda a energia radiante que sobre ele incide, seja qual for o comprimento de onda dessa radiação, tem-se o que se designa de *corpo negro*[1,3,4].

Por definição um corpo negro tem absorptância igual à unidade, i.e.  $\alpha_{\lambda} = 1$ ;  $\alpha = 1$ , assim nenhum corpo pode absorver mais radiação do que um corpo negro com as mesmas dimensões e exposto a mesma radiação incidente[5,6,7].

Defini-se emitância  $\varepsilon$  de uma superfície como sendo a razão entre a densidade do fluxo radiante emitido pela superfície sobre a densidade do fluxo radiante emitido por um corpo negro à mesma temperatura[4,7].

$$0 \leq \varepsilon_{\lambda}, \varepsilon \leq 1, \quad (2.22)$$

Kirchhoff mostrou que nenhum corpo real pode emitir mais radiação do que um corpo negro à mesma temperatura, portanto a emitância  $\varepsilon$  para um corpo negro é igual à unidade. Este mostrou ainda que[4,7]:

$$\alpha_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda} \quad (2.23)$$

Em termos qualitativos, a *lei de Kirchhoff* mostra que para materiais que são bons absorvedores à um determinado comprimento de onda são também bons emissores neste comprimento de onda[4].

A validade da lei de Kirchhoff não depende do estado do corpo, i.e. se está em equilíbrio térmico ou radiactivo, isto pode ser aplicado não somente às superfícies opacas, mas também aos gases, proporcionando que uma maior frequência de colisões moleculares sejam observadas em comparação com a maior frequência peculiar de absorção e emissão dos eventos na atmosfera terrestre [4].

### 2.1.5. Radiação Emitida pelo Corpo Negro

A densidade de fluxo espectral ou emitância espectral,  $\Phi_\lambda$ , define-se como sendo energia emitida por unidade de área e por intervalo de comprimento de onda. Pode-se, em princípio, determinar a emitância de um corpo negro para um único comprimento de onda  $\lambda$ , utilizando um vacuómetro; estes instrumentos medem, somente a energia associada à uma banda espectral de largura  $\Delta\lambda$ , centrada em  $\lambda$ ; daqui decorre a necessidade da noção da emitância espectral, que a sua distribuição em função da temperatura absoluta caracteriza o espectro do corpo negro, veja fig.2.3.[6,10]

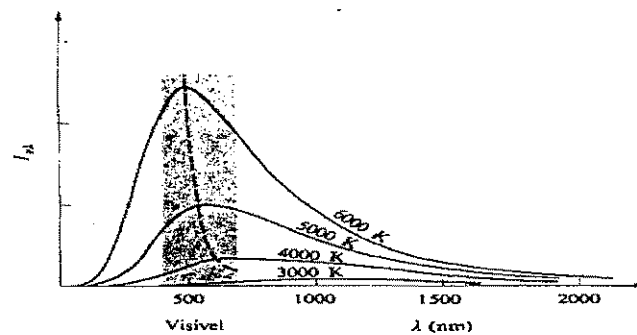


Fig.2.3 Curvas de corpo negro à diferentes temperaturas[1].

Max Planck postulou que um oscilador atômico só pode emitir ou absorver quantidades discretas de energia proporcionais à frequência de oscilação do átomo, considerou ainda que cada um dos tais valores de energia teria de ser um múltiplo inteiro de uma quantidade que designou como “elemento de energia”,  $h\nu$ . Os valores de energia que um oscilador podia absorver ou emitir seriam pois dados por [1,2,4]:

$$E_m = mh\nu, \tag{2.24}$$

onde  $m$  é um inteiro positivo e  $h$  é a constante de Planck a ajustar de acordo com os dados experimentais. A expressão para a emitância espectral é definida pela *lei de Planck* [1,2,4],

$$\Phi_{B,\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \left[ \exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right]}, \tag{2.25}$$



onde  $C_1 = 2\pi hc^2 = 3.74 \cdot 10^{-16} \text{ Wm}^2$  e  $C_2 = hc/k = 0.0144 \text{ mK}$ , e  $k$  é a constante de Boltzmann. A equação (2.25) traduz a lei de radiação de Planck, para  $h$  convenientemente escolhido de acordo com os resultados experimentais. O valor escolhido correctamente para a constante de Planck é:  $h = (6.6256 \pm 0.0005) \cdot 10^{-34} \text{ Js}$ .

Wien mostrou que os máximos da densidade do fluxo por intervalo unitário de comprimento de onda, obtêm-se para comprimentos de onda tais que [1,2,4]:

$$\lambda_{\max} T = 2.8978 \cdot 10^{-3} \text{ mK}, \quad (2.26)$$

onde quando a temperatura  $T$  aumenta, o comprimento de onda máximo  $\lambda_{\max}$  diminui. A expressão derivada por Wien a partir (2.25) é conhecida por *lei de deslocamento de Wien*. Wien obteve resultados que concordavam bastante bem com os dados experimentais para pequenos comprimentos de onda, mas que se afastavam substancialmente para grandes comprimentos de onda.

Lord Rayleigh e mais tarde Sir James Jeans construíram uma descrição do campo no interior de uma cavidade em termos de ondas estacionárias mas a expressão encontrada, a fórmula de Rayleigh-Jeans, só se ajustava com curvas experimentais para grandes comprimentos de onda.

Josef Stefan observou que a densidade do fluxo radiante total (ou emitância) de um corpo negro é proporcional à quarta potência da sua temperatura absoluta. Ludwig Boltzmann, aplicando a teoria de Maxwell e argumentos termodinâmicos ao corpo negro, derivou a lei hoje conhecida por *lei de Stefan-Boltzmann* [1,2,4]:

$$\Phi_B = \int \Phi_{B,\lambda} d\lambda = \sigma T^4, \quad (2.27)$$

onde  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann cujo valor é  $(5.6697 \pm 0.0029) \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$

Sabe-se que os corpos mais quentes emitem mais radiação, daí se escreve que o escoamento de calor dum corpo real de emitância  $\varepsilon$  e temperatura absoluta  $T$  é dada por:

$$\Phi_c = \varepsilon \sigma T^4, \quad (2.28)$$

a equação (2.27) é válida para o corpo negro, daí que  $\Phi_c$  é densidade de fluxo radiante para um corpo qualquer.

## 2.2. RADIAÇÃO SOLAR

### 2.2.1. Generalidades

O sol é um gigantesco reactor termonuclear que emite energia a partir da sua superfície, e aproxima-se a um radiador de corpo negro à temperatura de 6000K. A energia emitida é principalmente em forma de energia electromagnética, na escala de 30m de onda curta de radio à  $10^{-10}$ m de raios X. Contudo a maior parte da energia solar está na banda de comprimento de onda do visível e próximo do infravermelho. O sol é responsável por uma série de fenómenos chamados actividade solar. Estes fenómenos têm influência para o ambiente terrestre [5,6].

A chegada da radiação solar à superfície da terra é assunto complexo de muitos efeitos parcialmente não lineares e incertos na atmosfera [9,10,12,13]. Depois da entrada da radiação solar na troposfera várias perdas aparecem devido a cada absorção, reflexão e efeitos de filtração. Estes fenómenos locais ocorrem devido a existência da camada de ozono, aerossóis, humidade, nuvens, matéria poluente e diferentes temperaturas em baixa atmosfera. Além do mais, os registos na superfície da terra incluem incerteza devido aos erros de medição[4,12].

A radiação solar chega a terra com uma densidade de fluxo médio de cerca de  $1\text{kWm}^{-2}$ . Para áreas habitadas o fluxo recebido é cerca de 3 à  $30\text{MJm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ , dependendo do lugar, condições meteorológicas e época do ano[5,7]. A qualidade da radiação solar é caracterizada pelo pacote de 2.5 eV de energia recebida (fotão), como também é determinada pela temperatura da superfície do sol 6000K. Este é um fluxo de energia de altíssima qualidade termodinâmica, de uma fonte acessível à temperatura muitíssima elevada do que as das fontes convencionais.

### 2.2.2. Geometria da Terra e do Sol

A radiação do sol sobre a terra incide sob diversas direcções, estas direcções no plano da superfície terrestre são caracterizadas por certos ângulos, veja fig.2.4.[5].

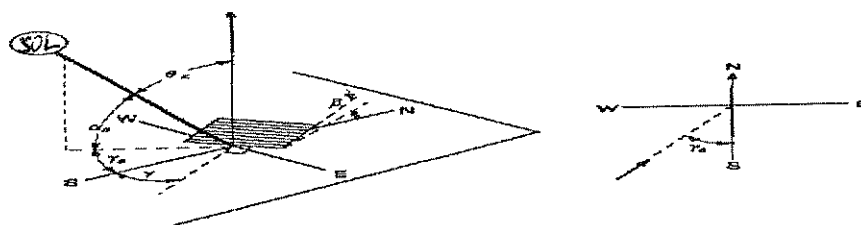


Fig.2.4 Ilustra os ângulos que descrevem a geometria terra-sol(Veja a descrição abaixo)[5].

Existe uma larga relação entre estes ângulos. Tal relação é descrita pelas expressões que se seguem.

$$\begin{aligned} \cos \vartheta &= \sin \delta \sin \phi \cos \beta - \sin \delta \cos \phi \sin \beta \cos \gamma \\ &+ \cos \delta \cos \phi \cos \beta \cos \omega + \cos \delta \sin \phi \sin \beta \cos \gamma \\ &+ \cos \delta \sin \beta \sin \gamma \sin \omega \end{aligned} \quad (2.29)$$

e

$$\cos \vartheta = \cos \vartheta_z \cos \beta + \sin \vartheta_z \sin \beta \cos(\gamma_s - \gamma), \quad (2.30)$$

onde  $\theta$  é o ângulo de incidência do feixe radiante à superfície,  $\delta$  é a declinação do sol,  $\phi$  é a latitude do lugar,  $\beta$  é o ângulo de inclinação do colector em relação à superfície horizontal,  $\gamma$  é o ângulo azimutal,  $\omega$  é o ângulo horário,  $\gamma_s$  é o azimute na superfície e  $\theta_z$  é o ângulo zénite.

A equação (2.29) toma diferentes formas, para o caso de superfícies horizontais, o ângulo de incidência é o ângulo zénite do sol,  $\theta_z$ , o seu valor varia entre  $0^\circ$  à  $90^\circ$  quando o sol está acima do horizonte. Neste caso,  $\beta = 0$ , e a equação (2.29) toma a forma[5,8]:

$$\cos \vartheta_z = \cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta. \quad (2.31)$$

Para uma manipulação útil numa esfera ( terra ) na qual se marque pontos e planos indicados no diagrama que se segue, veja fig.2.5. [5,7].

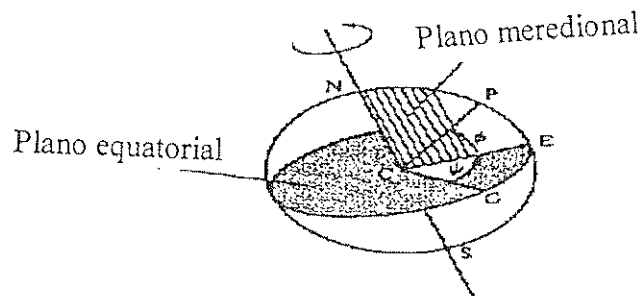


Fig.2.5. Ilustra a terra seus planos e pontos de referência (veja a descrição abaixo)[7].

A terra roda 24 horas em torno do seu eixo, que define os pontos do polo norte N e sul S. O eixo dos polos é normal ao plano equatorial desta. Na fig.2.5., C é o centro da terra. O ponto P na superfície da terra é determinado pela sua latitude  $\phi$  e longitude  $\psi$ .  $\phi$  é positivo no hemisfério norte e negativo no hemisfério sul.  $\psi$  tem valores positivos à Este do meridiano de Greenwich. O plano vertical norte-sul

através do ponto P é o plano meridional do local. E e G na fig.2.5. são pontos no equador tendo a mesma longitude com o ponto P e o meridiano de Greenwich respectivamente.

Uma vez em cada 24 horas o plano meridional CEP inclui o sol. Este é o meio dia solar para todos pontos com a mesma longitude. Não é necessariamente importante que os relógios leiam 12.00 h no meio dia solar, principalmente por causa do tempo civil, no qual eles são marcados, é definido assim para vasta parte dum território, cobrindo acima de  $15^0$  de longitude, porção com mesmo tempo civil, i.e. estes lugares estão na mesma zona de tempo.

Além do mais, a elipticidade da orbita da terra à volta do sol significa que não são exactamente 24 horas entre sucessivos meio dias solares, embora a média dos intervalos é 24.0000 horas. A correcção para isto é chamada “equação do tempo”; que nunca excede 15 minutos. A hora angular  $\omega$  no ponto P é o ângulo através do qual a terra tem girado desde o meio dia solar. Desde a rotação da terra ( $360^0/24h$ ) =  $15^0h^{-1}$ , a hora angular é dada por:

$$\omega = (15^0 h^{-1})(t_{solar} - 12h) = (15^0 h^{-1})(t_{zona} - 12h) + \omega_{eq} + (\psi - \psi_{zona}), \quad (2.32)$$

onde  $t_{solar}$  e  $t_{zona}$  são respectivamente o tempo solar e o tempo civil local ( medidos em horas),  $\psi_{zona}$  é longitude onde o sol está sobre a cabeça quando  $t_{zona}$  é meio dia solar (i.e. onde o tempo solar e o tempo civil coincidem). O pequeno termo de correcção  $\omega_{eq}$  é a equação do tempo, e pode ser desprezado para maior parte dos propósitos[5,7].

De acordo com (2.32),  $\omega$  é positiva à noite e negativa de manhã. Apartir da equação (2.31) quando o ângulo zénite do sol  $\theta_z = 90^0$  ao nascer do sol, o ângular horário  $\omega_s$  determina-se assim[5]:

$$\cos \omega_s = -\frac{(\sin \phi \sin \delta)}{(\cos \phi \cos \delta)} = -(\tan \phi \tan \delta). \quad (2.33)$$

A terra gira à volta do sol uma vez por ano. A direcção do eixo da terra permanece fixo no espaço, ao ângulo  $\delta_0 = 23.5^0$  fora da normal do plano de revolução (fig.2.6.). O ângulo entre a direcção do sol e o plano equatorial é chamado declinação do sol  $\delta$ , e providencia uma conveniente medida de mudança de época. Supondo que esta é a linha que desde o centro da terra ao sol corta a superficie da terra no ponto P na fig.2.5. Vê-se que  $\delta$  é precisamente o ângulo  $\phi$ , veja fig.2.5. Isto é, a declinação é a latitude do ponto onde o sol está sobre a cabeça no meio dia solar. Daí que, como pode ser visto na fig.2.6.,  $\delta$  varia suavemente desde  $+\delta = +23.5^0$  em pleno dia de Inverno no hemisfério sul, i.e. no

espalhamento pela atmosfera [5,7,11]. Veja fig.2.7 [11], é um esboço de como isto acontece.

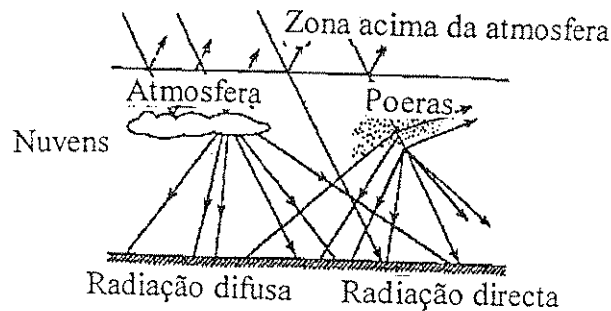


Fig.2.7 Componentes da radiação solar[11].

A distinção prática entre estas duas componentes, vinca-se pelo facto de que somente a radiação solar directa pode ser focalizada, enquanto que a radiação solar difusa não.

É de salientar que até nos dias claros existe alguma radiação difusa. Desta maneira a razão entre o feixe directo da irradiância e a irradiância total varia cerca de 0.9 nos dias claros a zero nos dias completamente cobertos.

É importante distinguir as várias componentes da radiação solar e distinguir o plano no qual a irradiância tem sido medida. Usam-se o subíndice b para feixe directo, d para radiação difusa, t para total, h para plano horizontal e c para o plano do colector. O asterisco (\*) denota o plano perpendicular ao feixe directo. O subíndice 0 denota os valores acima da atmosfera. Os subíndices c e t são assumidos se não forem dados os subíndices, assim que  $G = G_{tc}$ .

$$G_{bh} = G_b \cos \theta, \quad (2.35)$$

onde  $\theta$  é o ângulo entre o feixe directo e a normal a superfície do colector. Em particular,

$$G_{bh} = G_b \cos \theta_z, \quad (2.36)$$

onde  $\theta_z$  é o ângulo entre o feixe directo e o plano vertical.

A irradiância total em qualquer plano que seja é a soma das componentes da radiação directa e difusa:

solstício de Inverno o ângulo de declinação do sol atinge o seu valor máximo ( $23.5^{\circ}$ ), o que implica o valor mais baixo de horas de dia solar no ano, que ronda por 10.00 h, isto mostra que a noite é mais longa que o dia solar, característica essa do Inverno, este fenómeno ocorre por volta do dia 21 de Junho; para  $-\delta_0 = -23.5^{\circ}$  à sul em plenos dias de Verão, i.e. no solstício do Verão o ângulo de declinação do sol atinge o seu valor mínimo ( $-23.5^{\circ}$ ), o que leva ao dia solar mais longo do ano, que é cerca de 14.00 h, mostrando assim que o dia solar é mais longo que a noite, característica do Verão, este fenómeno dá-se por volta do dia 21 de Dezembro. Além do mais, aquando do movimento de translação da terra, o sol corta o equador, dá-se ao que chama-se de equinócio. Este fenómeno acontece duas vezes por ano, concretamente por volta de 21 de Março e 21 de Setembro e, a estas datas denominam-se equinócio da Primavera e equinócio do Outono respectivamente. Os equinócios são caracterizados por um dia de sol igual a noite, i.e. 12.00 h de dia solar e 12.00 h de noite devido a declinação do sol ser igual a zero graus. A cada intervalo destas datas denominam-se época. Analiticamente a declinação do sol escreve-se assim:

$$\delta = \delta_0 \sin \left[ \frac{360^{\circ}(284 + n)}{365} \right], \quad (2.34)$$

onde  $n$  é um dia do ano ( $n = 1$  no 1 de Janeiro).

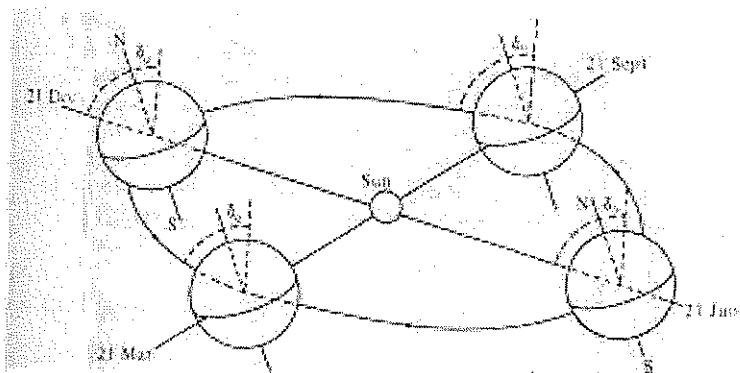


Fig.2.6 Declinação do sol em relação à terra[7].

### 2.2.3. Componentes da Radiação Solar

A radiação solar incidente na atmosfera da direcção do sol é o feixe da radiação solar extraterrestre. De baixo da atmosfera na superfície terrestre, a radiação será observável na direcção do disco solar num feixe directo (radiação directa) que é recebida sem ter sofrido o espalhamento pela atmosfera, e também por outras direcções como a radiação difusa, que é a radiação que mudou de direcção devido ao

$$G_t = G_b + G_d, \quad (2.37)$$

#### 2.2.4. Latitude, Época e Insolação.

A radiação solar depende de dois factores inevitáveis, que são nomeadamente a latitude e a época do ano. A latitude do lugar é um dos parâmetros fundamentais que determina as diferentes quantidades da radiação solar recebidas em diferentes locais num dia específico na superfície terrestre.

As épocas do ano, delimitam claramente o comportamento da radiação solar ao longo do ano, permitindo assim uma boa avaliação desta.

A radiação diária  $H$  é a energia total por unidade de área recebida num dia de sol:

$$H = \int G dt. \quad (2.38)$$

A variação sazonal depende de três factores:

(1)-Variação da duração do dia desde o nascer ao pôr do sol.

A partir da equação (2.31) determina-se o parâmetro astronómico  $N$ , designado variação da duração do dia solar (em horas) e é dada por[5,7]:

$$N = \left( \frac{2}{15} \right) \cos^{-1} (-\tan \phi \tan \delta). \quad (2.39)$$

(2)- Orientação da superfície receptora.

(3)- Variação na absorção atmosférica.

Ao números de horas durante o dia, nas quais os raios solares atingem directamente a superfície terrestre, em um dado local denomina-se de insolação [14].

#### 2.2.5. Variação Horária da Radiação Solar.

Tomando em conta que a radiação recebida é função da ângulo horário para dias de céu limpo, a sua variação horária é dada por:

$$G_h \approx G_h^{\max} \sin\left(\frac{\pi h}{N}\right), \quad (2.40)$$

onde  $G_h^{\text{máx}}$  é a radiação solar máxima recebida,  $t'$  é o tempo depois de nascer do sol e  $N$  é a variação da duração do dia solar ( em horas), i.e. para aquele dia específico.

Tomando a equação (2.38) escreve-se que a energia recebida na superfície horizontal por hora para dias de céu limpo é dada por:

$$H_h = \left( \frac{2N}{\pi} \right) G_h^{\text{máx}}. \quad (2.41)$$

### 2.2.6. Radiação Solar Extraterrestre.

As reacções de fusão nuclear no núcleo activo do sol produzem temperaturas internas de cerca de  $10^7\text{K}$  e uma distribuição espectral interna desigual do fluxo da radiação. Esta radiação interna é absorvida nas camadas passivas externas que são aquecidas a cerca de  $5800\text{K}$  e assim torna-se uma fonte de radiação com uma distribuição espectral com forma relativamente contínua [5,7].

O espectro do corpo negro da superfície do sol é modificado pela variação em temperatura através do disco do sol, o efeito da atmosfera solar e as linhas de absorção de Fraunhofer. A fig. 2.8. mostra a distribuição espectral da radiação solar fora da atmosfera, e a fig.2.9. mostra uma comparação de distribuições espectrais entre várias curvas do corpo negro à diferentes temperaturas e da radiação solar [5,6].

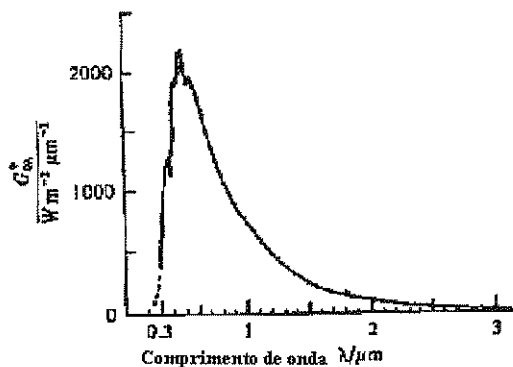


Fig.2.8 Distribuição da radiação solar fora da atmosfera terrestre[7].



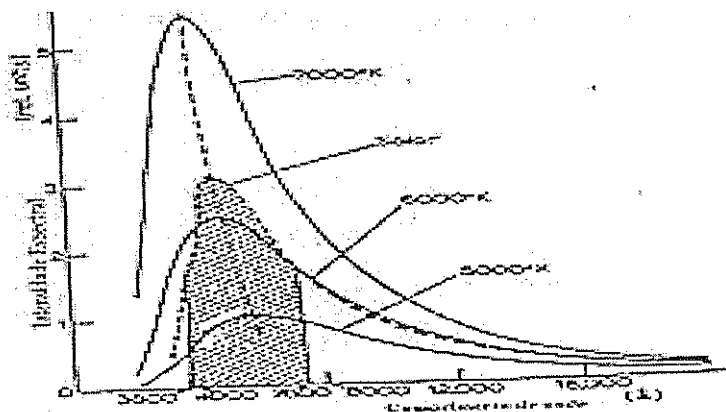


Fig.2.9 Comparação das distribuições espectrais de várias curvas do corpo Negro à diferentes temperaturas e da radiação solar[10].

No espaço externo, 98% da energia total radiada pelo sol situa-se entre os comprimentos de onda de (0.25 - 3.0)  $\mu\text{m}$ . A variação da constante solar no n-ésimo dia directamente visualizado do sol sobre a terra é denominado  $G_{0,T}$ , esta, em geral é conhecida como *constante solar*  $G_{sc}$ . Esta constante Solar é definida como a razão da energia recebida por unidade de área perpendicular à direcção do sol. No espaço livre da distância média da terra ao sol, o mais recente valor aceite é de  $G_{sc} = 1.367 \text{ kWm}^{-2}$  [5,7,8]. De facto a constante solar  $G_{sc}$  no espaço livre a distância média da terra ao sol difere deste valor em  $\pm 3.0 \%$  devido a prognosticável mudança da distância terra-sol ao longo do ano, que advêm da trajectória elíptica da terra. Existem também flutuações na radiação de saída do sol, que conta para variações de cerca de  $\pm 1.5\%$ . Duma forma empírica escreve-se a equação que traduz a variação anual do fluxo incidente da radiação solar, i.e.

$$G_{0,T} = G_{sc} \left[ 1 + 0.033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right], \quad (2.42)$$

onde 0.033 é coeficiente de excentricidade da terra e  $n$  é o número do dia ( ex.  $n = 32$ , dia 1 de Fevereiro ), a variação anual do fluxo incidente da radiação solar é desprezível e, daí é usada a constante solar [5,8].

A superfície localizada no limite exterior da atmosfera terrestre, directamente acima e paralela à superfície horizontal do local em estudo, não recebe todo fluxo incidente da radiação solar, pois esta não está sempre perpendicular aos raios solares. Quando a radiação directa é projectada sobre a área superficial, o produto desta área de superfície e o coseno do ângulo (este ângulo é o ângulo zénite do sol), veja (2.31) entre os raios solares e a linha perpendicular à superfície. Isto é, o fluxo da energia solar na superfície horizontal extraterrestre é dada por[5,8]:

$$G_0 = G_{0,T} \cos \vartheta_z = G_{0,T} [\cos \phi \cos \delta \cos \omega + \sin \phi \sin \delta] \quad (2.43)$$

o valor do fluxo da energia solar na superfície horizontal extraterrestre depende da latitude do lugar  $\phi$ , da declinação do sol no dia e da variação do ângulo horário[5,8].

A energia solar total incidente sobre a superfície horizontal extraterrestre visualizada durante a entrada diária é obtida apartir de (2.38), irradiação solar instantânea:

$$H_0 = \int G_0 dt. \quad (2.44)$$

Substituindo a equação ( 2.42) e (2.43) na integral (2.44) resulta:

$$H_0 = \left( \frac{24}{\pi} \right) G_{sc} \left[ \left( 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360n}{365} \right) \right) \right] \left[ \cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \left( \frac{\pi \omega_s}{180} \right) \sin \phi \sin \delta \right]. \quad (2.45)$$

O espectro solar extraterrestre, que está na escala da radiação de ondas curtas, pode ser dividido em três regiões principais [5,6,7]:

- \* Região ultravioleta ( $\lambda < 0.4 \mu\text{m}$ ): 9% de irradiância
- \* Região visível ( $0.4 \mu\text{m} < \lambda < 0.7 \mu\text{m}$ ): 45% de irradiância
- \* Região infravermelho ( $\lambda > 0.7 \mu\text{m}$ ): 46% de irradiância

A contribuição para o fluxo da radiação solar de comprimentos de onda maiores que  $2.5 \mu\text{m}$  é desprezível, e todas três regiões são classificadas como radiação de ondas curtas. Efeitos geométricos,

tais como ângulo de declinação do sol, são manifestados pela variação da trajectória através da atmosfera [6].

### 2.2.7. Efeitos da Atmosfera Terrestre.

A intensidade e a distribuição espectral da radiação chegando à superfície da terra ambas dependem da composição da atmosfera, como também do percurso da radiação através da atmosfera. Os mais importantes parâmetros da atmosfera são o conteúdo da água  $w$ ; coeficiente de turbididade  $B$ , expressando efeito de neblina; o conteúdo da camada de ozono; a nebulosidade do céu e efeitos de reflexão do solo [9,10].

Desde que a radiação atinja a periferia da atmosfera terrestre, normal à direcção do sol, depende somente da distância terra-sol, outros efeitos geométricos, tal como ângulo de declinação do sol, são primariamente manifestados pela variação do percurso através da atmosfera. Se considerar-se somente a radiação directa num receptor apontando directamente para o sol, este efeito geométrico pode ser quase descrito pela especificação do ângulo zénite do sol  $\theta_z$ , o ângulo entre a terra-raios solares e a normal do plano contendo o circulo horizontal. Este ângulo zénite  $\theta_z$  é função do tempo do dia, a época, a latitude e a longitude. No meio dia solar real,  $\theta_z$  é dado pela latitude menos  $23.5^\circ \cos(360n/365)$ , onde  $n$  é o número de dias desde o solstício de Verão, em graus [6].

O percurso através da atmosfera é convencionalmente descrito em termos da massa relativa equivalente de ar  $m_r$ . O percurso pelo ângulo zénite é exactamente a  $\sec$  de  $\theta_z$  vezes o percurso para  $\theta_z = 0$ , e esta massa relativa de ar  $m_r$  é definida como sendo  $m_r = \sec\theta_z$ . O espectro solar específico está etiquetado por  $AMm_r$ .  $AM_0$  corresponde o espectro solar no espaço exterior; o espectro solar médio na superfície terrestre corresponde aproximadamente a  $AM_2$ . Os espectros  $AM_0$  e  $AM_2$  são comparados na fig. 2.10 [6].

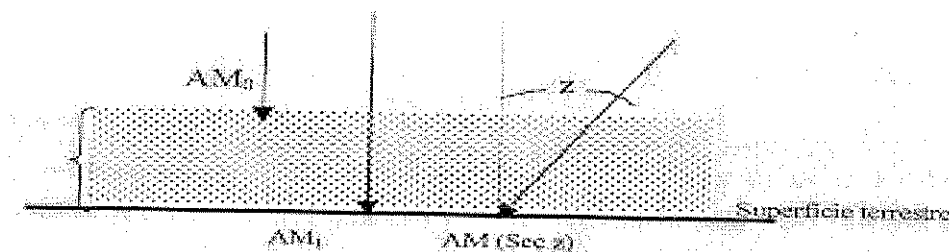


Fig.2.10 Ilustração do espectro da radiação solar sendo  $AM_0$  no espaço,  $AM_1$  na superfície terrestre para

a normal incidente, e  $AM_m$  a superfície com  $m = \sec \theta_z$ , onde  $\theta_z$  é o desvio da normal incidente [6].

No seu percurso através da atmosfera, o feixe solar é modificado pelos processos que se seguem:

- 1-Espalhamento de Rayleigh, que é responsável pela cor azul do céu.
- 2-Bandas de Absorção Electrónica, primeiramente em oxigénio, nitrogénio, e ozono. Aproximadamente toda radiação com  $\lambda < 0.29\text{mm}$  é absorvida pelo ozono.
- 3-Bandas de Absorção Molecular Rotacional e Vibracional em  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$  (veja fig.2.4). Aproximadamente toda radiação com  $\lambda > 3.0\text{mm}$  é absorvida pela  $\text{H}_2\text{O}$  e  $\text{CO}_2$  ( com a excepção da assim chamada janela atmosférica de maiores comprimentos de onda longa).
- 4-Espalhamento pelos aerossóis e matéria, que é grande para comprimento de onda curta.
- 5-Refracção e Turbulência devido às variações no índice de refração com a temperatura e pressão- um pequeno efeito neste contexto.

Finalmente, a radiação incidente é modificada pela adição da componente difusa da radiação do céu, que depende da concentração dos aerossóis, nebulosidade, e a reflexão local da superfície da terra. A radiação difusa é máxima na porção azul do espectro e contribui com cerca de 8-10% da radiação total em dias suficientemente claros no meio dia e mais considerável a maiores ângulos zénite [6,10].

### **2.2.8. Estimativa da Radiação Solar.**

Antes da instalação de um colector de energia solar, é necessário determinar a quantidade de energia solar que poderá ser colectada. Conhecendo isso, e o modelo projectado de uso de energia deste mecanismo, é possível calcular a medida do colector. Idealmente os dados requeridos serão de vários anos de medição de irradiância no colector plano proposto. Isto é raramente disponível, assim as medidas requeridas (estatísticas) devem ser estimadas de dados meteorológicos no local ou de um local próximo, no qual a irradiância deve ser similar.

Em acréscimo às variações regulares existem também variações irregulares substanciais. Destas as mais significantes para fins de mecanização são talvez as flutuações de dia-a-dia, como elas afectam a quantidade de energia armazenada que o sistema de energia solar requererá.

Desta maneira um completo registo de dados de irradiância passados podem ser usados para prognosticar irradiância futura somente num senso estatístico. Portanto os métodos de modelos frequentemente usados dependem de médias aproximadas, tais como as médias mensais de radiação

diária. Para estimar estes dados a partir doutros medidos é fácil que prognosticar a todo modelo de irradiância.

Todas estações meteorológicas medem diariamente as horas de irradiação dos raios solares  $I$  (número de horas de insolação), os registos destas quantidades são disponíveis por várias décadas. É geralmente medido pelo registador de Campbell-Stokes, que compreende um cartão especialmente marcado introduzido entre um vidro de magnetização. Quando o sol está irradiando queima o cartão e esburaca, o observador mede  $I$  a partir do comprimento total da queimadura do cartão em cada dia.

Muitas tentativas tem sido feitas para correlacionar a radiação solar com a insolação, geralmente pela expressão da forma[5,7,12,13,14,15]:

$$H_h = H_{oh} \left[ a + b \left( \frac{I}{N} \right) \right]. \quad (2.46)$$

A equação (2.46) mostra o modelo de Angstrom, que permite estimar a radiação solar global. Onde  $H_h$  é radiação global diária na superfície horizontal,  $H_{oh}$  é radiação diária extraterrestre na superfície paralela à horizontal,  $I$  é o número de horas de insolação solar diária,  $N$  é duração do dia solar (parâmetro astronómico) e  $a$  e  $b$  são coeficientes. Estes coeficientes do modelo de Angstrom variam de local para local.

A proporção da radiação vinda que é focalizável depende da nebulosidade e da poeira da atmosfera. Estes factores podem ser medidos pelo coeficiente de transparência  $K_T$ , que é a razão da radiação recebida na superfície horizontal num período (geralmente um dia) e a radiação extraterrestre que tem sido recebida numa superfície paralela à horizontal no mesmo período:

$$K_T = \frac{H_h}{H_{oh}}. \quad (2.47)$$

Nos dias claros a razão de massa de ar  $m = 1$  e portanto  $K_T \approx 0.8$ . Para estes dias a fracção difusa que é a razão entre a radiação difusa e a radiação global recebida na superfície horizontal é cerca de 0.2, este valor atinge 1.0 nos dias completamente cobertos ( $K_T = 0$ ). Nos dias de sol com significantes aerossóis ou com poucas nuvens, a fracção difusa pode ser no máximo 0.5 [5,7].

### **2.2.9. Medição da Radiação Solar.**

#### *2.2.9.1. Instrumentos de Medição das Componentes da Radiação Solar*

Uma variedade de instrumentos é usada para medir a radiação solar. Os detectores das componentes da radiação destes instrumentos são basicamente de dois tipos:

1- dispositivos que usam junção semicondutor, mecanismo muito similar às células solares (usualmente junções p/n de Si), que são essencialmente contadoras de fótons com uma extensão de resposta espectral muito estreita do que o espectro solar [10].

2- Detectores piroeléctricos e termopilhas, que são essencialmente integradores de energia geralmente com uma independente resposta do comprimento de onda (comparado ao mecanismo de junção) que tem uma espessura de banda determinada pelo material de vidro e camada absorvedora, que é geralmente bastante larga para conter essencialmente todo espectro solar terrestre[10].

Pirheliómetros- São aparelhos de medição de radiação solar que geralmente tem um campo angular pequeno ( $5-10^0$  ou menos) e a trajectória do sol para medição somente da componente directa da radiação solar (pirheliómetro de incidência normal, NIP). Frequentemente uma termopilha é usada como um detector, e a extensão total de comprimento de onda solar é medido. Os filtros de banda podem ser usados para obter informação espectral [10,17]. A fig. 5.1 do anexo 5 mostra um perheliómetro.

Uma nova classe de pirheliómetros, referido como aparelho de cavidade activa, está ganhando popularidade. Estes instrumentos operam pela medição da corrente (fornecida ao instrumento) usada para aquecer uma cavidade que é alternativamente exposta e bloqueada do sol pelo talhador. Estes instrumentos tem a vantagem de serem calibrados num senso absoluto e não requerem padrões secundários.

Piranómetros- São radiómetros solares com um campo de  $180^0$  usados para medir radiação global. Estes são geralmente usados com um detector termopilha montado na posição horizontal. A célula solar Si é às vezes usada como detector, mas neste caso o valor da radiação total pode ser obtido a partir da constante de calibração. Usando tal célula solar de Si pode conduzir a erros porque somente uma porção do espectro solar é medido; o instrumento é insensível a variações (frequentemente consideráveis) fora da banda do detector e pode conduzir a leituras incorrectas da radiação solar [10,17]. A fig. 5.2 do anexo 5 mostra um piranómetro.

Para aplicações de altíssima concentração é interessante saber a distribuição da intensidade angular dos raios solares que atingem um observador na terra. Esta distribuição influencia na razão da concentração máxima útil usada. A considerável proporção da intensidade solar que aparece incidente fora do disco

solar, tem sido espalhada pela atmosfera terrestre. Esta é chamada radiação circumsolar; a razão da intensidade circumsolar e da intensidade directamente do disco solar ( C/S ) varia de < 1% a aproximadamente toda radiação circumsolar, dependendo das condições da atmosfera e do ângulo zénite. A radiação circumsolar é actualmente porção próxima do eixo da assim chamada componente difusa da radiação solar.

#### 2.2.9.2. Instrumentos de medição da Insolação

O instrumento frequentemente usado para o registo do número de horas de incidência dos raios solares é o heliógrafo de Campbell-Stokes, que é composto de uma esfera perfeitamente de vidro, suspensa em um sólido suporte semicircular, tendo por baixo uma armação metálica em forma de concha, cuja na face interna existem vãos formados por seis ranhuras independentes e concêntricas com a esfera. Os raios solares são focalizados através do vidro sobre uma tira de papelão colocada, consoante à época do ano, em um dos vãos da concha, de modo que o intenso calor da imagem do sol, sempre em movimento, queime progressivamente o papelão desde que não haja nuvens capazes de intersectar os raios daquele astro. A posição do eixo da esfera pode ser alterado, adaptando o aparelho a qualquer latitude entre  $0^{\circ}$  e  $70^{\circ}$  [16]. A fig. 5.3 do anexo 5 mostra um heliógrafo.

### 3. METODOLOGIA

O registo dos dados relacionados com radiação solar na região de Maputo, situada entre  $24^{\circ}$  e  $27^{\circ}$  de latitude Sul, e entre  $32^{\circ}$  e  $34^{\circ}$  de longitude Este, tem vindo a ser feito desde o início deste século até os dias de hoje, pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INAM). Actualmente os parâmetros registados são a radiação global, a radiação difusa e a insolação. Os dados da radiação directa foram registados num período de 31 anos, desde 1963 até 1992. Hoje esta componente da radiação solar não tem sido registada devido a falta do instrumento de medição ( pirheliómetro ). Para o estudo da radiação solar na região de Maputo, foi necessário analisar o comportamento da radiação solar, o coeficiente de transparência e o cálculo da radiação global apartir da insolação.

Nas secções seguintes explica-se com detalhes a metodologia utilizada para as análises acima referidas.

A estação actinométrica principal de Maputo do INAM, situada à -  $25^{\circ}58'$  de latitude e +  $32^{\circ}36'$  de longitude e a uma altitude aproximadamente de 60 m, faz o registo horário dos dados dos parâmetros acima referidos. Os valores da radiação solar global e da radiação difusa foram medidos por piranómetros em  $\text{cal}/\text{min}/\text{cm}^2$ , sobre uma superfície horizontal e registados por solarígrafo Robtitzch-

Fuoss e os valores da insolação, foram registados por um heliógrafo Campbell-Stokes. Os dados analisados neste trabalho foram recolhidos num período de 10 anos (1987-1996). Estes dados da radiação solar foram convertidos para o sistema internacional (SI), i.e. em kWh/m<sup>2</sup>.

### *3.1. COMPORTAMENTO DA RADIAÇÃO SOLAR.*

O estudo do comportamento da radiação solar compreende necessariamente uma abordagem profunda das componentes da radiação solar, da radiação extraterrestre, da duração do dia solar (parâmetro astronómico) e a insolação. Para este efeito como já referiu-se em parágrafos anteriores deste capítulo, utiliza-se a radiação global que é a soma da radiação directa e radiação difusa. Com base nos registos da radiação global e radiação difusa fornecidos pelo INAM fez-se a determinação da radiação directa ao longo dos 10 anos segundo a equação (2.37) do capítulo 2. Esta determinação da radiação directa é feita por uma simples subtracção da radiação global pela radiação difusa. Após determinar-se a radiação directa, calcula-se as médias diárias da radiação directa, radiação difusa e radiação global ao longo dos 10 anos, i.e. a média diária para cada dia específico ao longo do período em estudo. Ainda no estudo do comportamento da radiação solar determina-se a radiação solar extraterrestre, esta radiação depende do valor da latitude do lugar, da declinação do sol e do ângulo horário determinados para um dia específico. Com base na equação (2.34) determina-se a declinação do sol e, tomando a equação (2.33) determina-se o ângulo horário. Assim, calcula-se a radiação solar extraterrestre a partir da equação (2.45) do capítulo 2, i.e. valores diários ao longo do ano. Para além deste parâmetro, determina-se a duração do dia solar que é um parâmetro astronómico que depende da latitude do lugar e declinação do sol, usando a equação (2.39) do capítulo 2, determina-se a variação da duração do dia solar em horas de cada dia ao longo do ano. A insolação é registada pelo INAM. Com base nos registos do período referido calcula-se as médias diárias da insolação. Todos os cálculos aqui referidos foram processados numa folha de cálculo MS-Excel

### *3.2. COEFICIENTE DE TRANSPARÊNCIA DA ATMOSFERA TERRESTRE.*

Este parâmetro permite avaliar a quantidade de radiação solar que entra na superfície terrestre num dia específico, tendo em consideração que a radiação solar extraterrestre é um parâmetro “invariável” para cada dia específico. Para a análise do coeficiente de transparência usam-se os dados colectados pelo INAM da radiação global na superfície horizontal e, os dados da radiação solar extraterrestre determinados segundo a secção 3.1. deste capítulo. A partir dos dados determinados, usa-se a equação



(2.35) do capítulo 2 para determinar os coeficientes de transparência ao longo do período em estudo. Destes dados calculam-se as médias diárias de cada dia específico ao longo destes anos.

### 3.3. CÁLCULO DA RADIAÇÃO SOLAR A PARTIR DA INSOLAÇÃO.

O cálculo da radiação solar a partir da insolação, tem vindo a ser utilizado em diversas partes do globo terrestre e com êxito. Para uma boa avaliação do comportamento da radiação solar nesta região, utilizam-se os dados colhidos na estação actinométrica principal de Maputo, relativos à radiação solar global e à insolação neste período em estudo e, fazendo uso dos dados calculados na secção 3.2 deste capítulo e usando a equação (2.46) do capítulo 2, que exprime o modelo de Angstrom, modelo esse que correlaciona a radiação solar recebida e a insolação. Para tal manipulação, usa-se o método dos mínimos quadrados para a aproximação linear do modelo [18,19, 20]. Este método permite a determinação dos coeficientes  $a$  e  $b$  deste modelo. Para aplicação deste método subdivide-se os dados em meses do ano, i.e, calculam-se os coeficientes  $a$  e  $b$  para cada mês do ano, porque o comportamento da radiação solar e a insolação obedecem a diversos factores ( meteorológicos e geométricos). Tomando em consideração o acima citado, introduzem-se os dados e as fórmulas que conferem o método dos mínimos quadrados numa folha de MS-Excel, calculam-se os coeficientes  $a$  e  $b$  para cada mês, e de seguida determinam-se as suas variâncias e os seus desvios padrão. Feito isso, determinam-se o valor médio de cada coeficiente ao longo dos 10 anos.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

### 4.1. ANÁLISE DOS DADOS

A partir das análises realizadas com base nos dados da radiação solar global e suas componentes, observa-se que em média ao longo dos anos a radiação directa tem valores superiores que a radiação difusa. Em termos percentuais, vê-se que em média a radiação directa é cerca de 65% da radiação global recebida nesta região da superfície terrestre em estudo.

Tomando os dados do 5<sup>o</sup> ano deste período, i.e., o ano de 1991 para exprimir melhor esta análise, traçou-se o gráfico 4.1 que ilustra o comportamento das componentes da radiação solar ao longo de 1991, observa-se que os valores médios da radiação directa prevalecem superiores que da radiação difusa ao longo do ano. Em termos de médias diárias da radiação global, difusa e directa de cada dia do mês veja tabela 2.1,2.2 e 2.3 respectivamente do anexo 2.

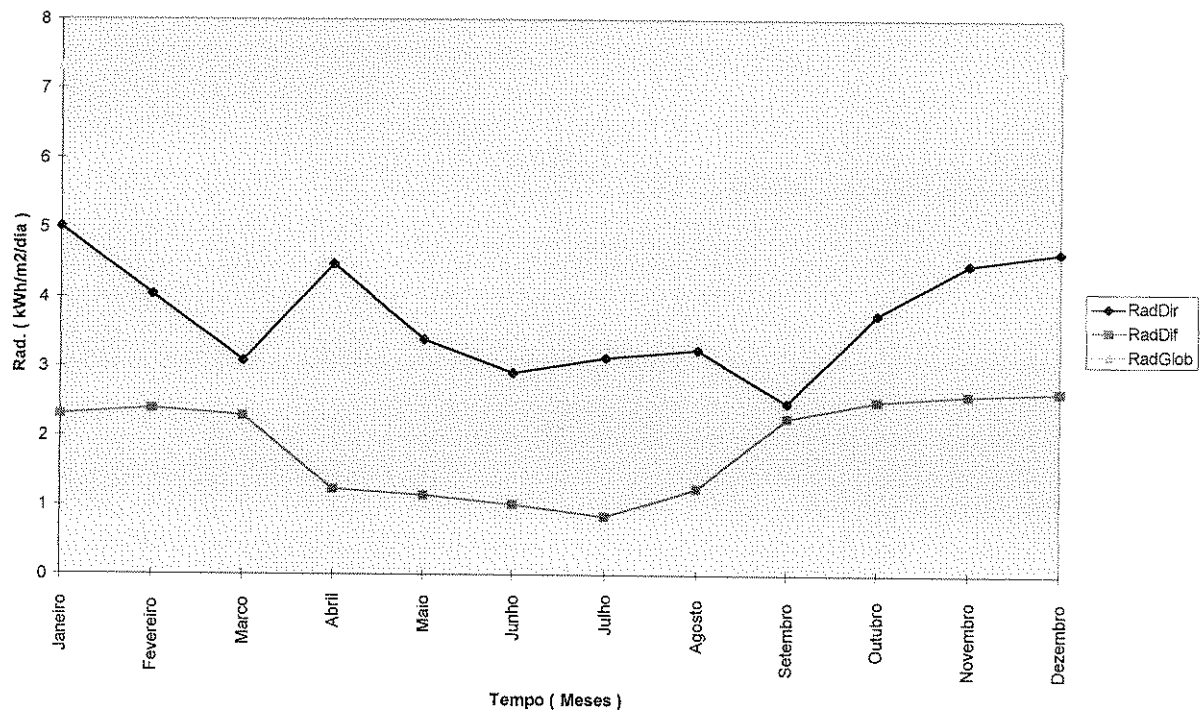


Fig.4.1. Comportamento das componentes da radiação solar.

A radiação global extraterrestre na superfície paralela à horizontal em estudo e a duração do dia solar, que por características locais têm valores altos entre o equinócio da Primavera e o equinócio do Outono, como se pode ver nos gráficos 4.2. e 4.3. que mostram a característica da radiação solar extraterrestre na superfície paralela à horizontal e à duração do dia solar respectivamente. Os dados correspondentes aos gráficos ilustrados 4.2. e 4.3. estão nas tabelas 1.2 e 1.3 do anexo 1.

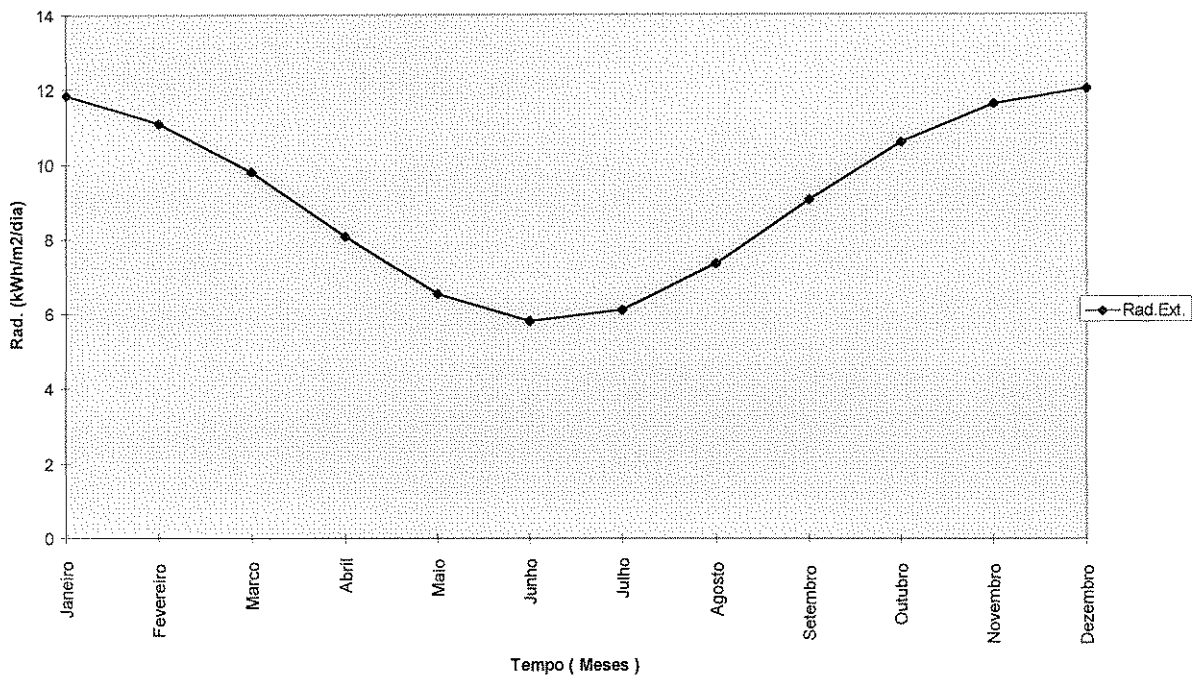


Fig.4.2. Radiação solar extraterrestre na superfície paralela à horizontal.

A radiação extraterrestre tem em média diária o valor máximo e mínimo de radiação solar nos meses de Dezembro e Junho, que são respectivamente  $12.011 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$  e  $5.806 \text{ kWh/m}^2/\text{dia}$ , meses esses que caracterizam o Verão e Inverno local respectivamente. É de salientar, que a radiação solar global recebida na superfície terrestre neste local, é em média cerca de 59 % da radiação solar extraterrestre. Este facto leva a crer que cerca de 41 % desta radiação é perdida na atmosfera terrestre.

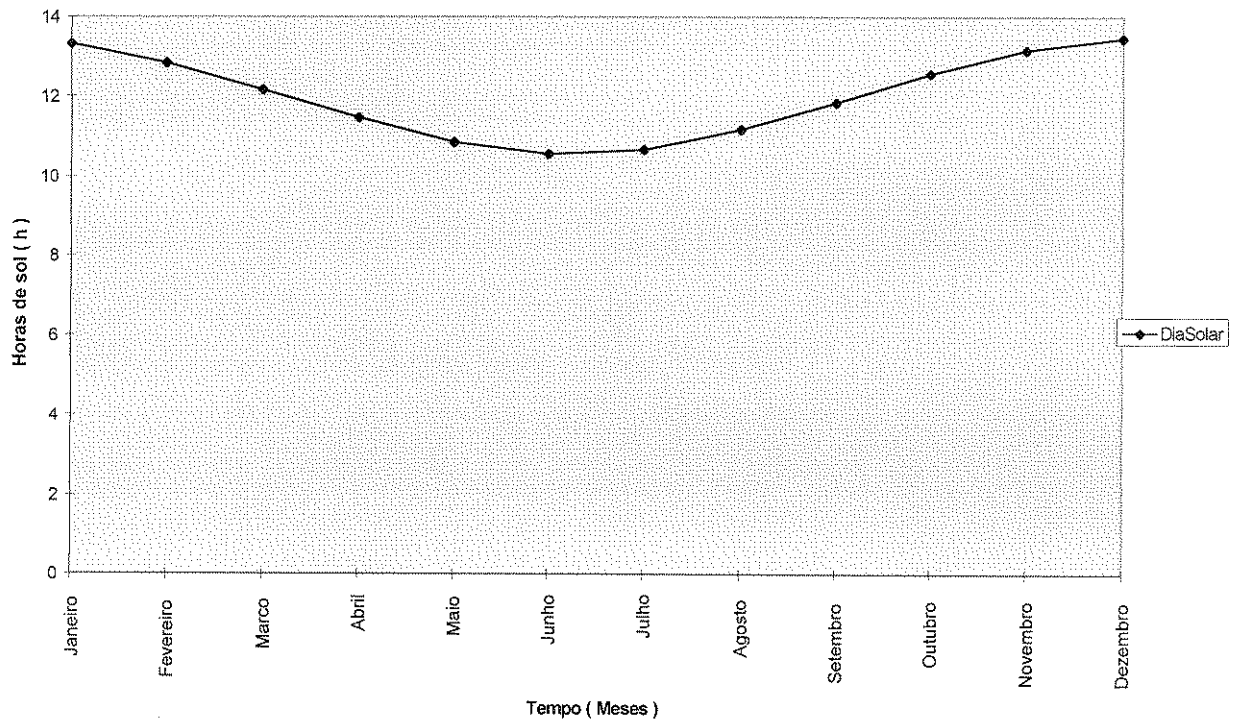


Fig.4.3. Variação da duração do dia solar.

A variação da duração do dia solar ( parâmetro astronómico ) é de 12.00 h/dia no equinócio do Outono e no equinócio da Primavera, pois a declinação do sol é igual a zero ( $0^{\circ}$ ). Este fenómeno ocorre quando o sol corta o equador e dá-se por volta dos dias 21 de Março e 21 de Setembro respectivamente. Ao longo do ano observa-se que a duração do dia solar mínima e máxima, são por volta de 10.00 h/dia e 14.00 h/dia, que acontece quando o sol atinge a sua declinação máxima ( $23.5^{\circ}$ ) e declinação mínima ( $-23.5^{\circ}$ ), i.e. solstício do Inverno por volta de 21 de Junho e solstício de Verão por volta de 21 de Dezembro; vê-se que o Inverno é caracterizado por noites longas e dias curtos, contrariamente ao Verão, que é caracterizado por noites curtas e dias longos, veja o gráfico 4.4 que ilustra a variação da declinação do sol ao longo do ano. Para melhor compreensão da variação da declinação do sol veja tabela 1.1. do anexo 1.

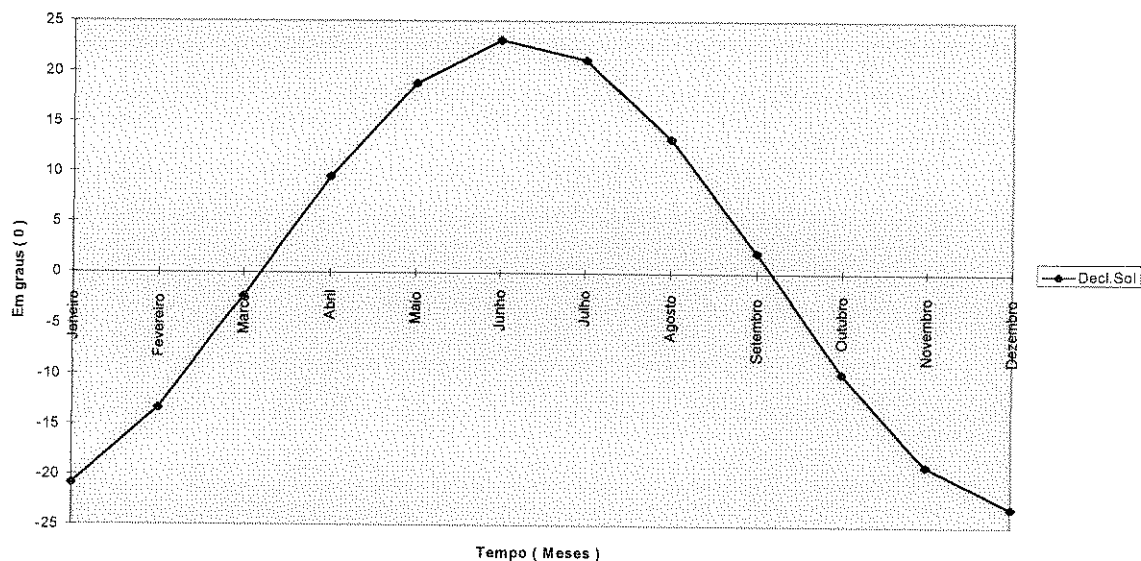


Fig.4.4. Variação da declinação do sol ao longo do ano

Usando os dados observados na estação de observação local, verifica-se que o comportamento da radiação global na superfície horizontal em estudo, como a insolação obedecem às características locais, apesar de algumas variações observadas em certos períodos tais como, a insolação no período entre o equinócio da Primavera e o solstício de Verão de 1987 ( veja tabela 3.1. do anexo3) e a radiação global na superfície horizontal no mesmo período de 1988 ( veja tabela 3.2. do anexo 3) devido aos efeitos na atmosfera terrestre fora do comum. Contudo, estes dados permitem um estudo da radiação solar para fins de energia solar.

O coeficiente de transparência ainda neste período, tem um valor mínimo de 0.33 observado em Novembro de 1988 ( veja tabela 3.3. do anexo 3) e o valor máximo de 0.76 observado em Agosto de 1988 ( veja tabela 3.3 do anexo 3). O coeficiente de transparência em termos de médias mensais é caracterizado por valores mais altos no período que vai desde o equinócio do Outono, i.e. por volta de 21 de Março ao equinócio da Primavera por volta de 21 de Setembro. Este facto deve-se, pois, à característica do Verão nesta região. O Verão nesta posição geográfica oferece a época chuvosa, daí que a maior parte dos dias são de céu coberto como pode-se ver na fig.4.5. o gráfico que mostra o comportamento dos coeficientes de transparência ao longo de 1987 (A), 1991 (B) e 1996 (C). Tomando uma outra análise destes dados, i.e. valores óptimos ( dias de céu limpo) em cada mês observa-se que as médias mensais prevalecem quase constante, veja tabela 2.6. do anexo 2. Isto deve-se ao facto da

variação da radiação solar ao longo do ano, obedecer à certo comportamento que é característica local, i.e. a correlação entre a radiação solar recebida na superfície terrestre e a radiação extraterrestre permanece quase invariável em dias de céu limpo.

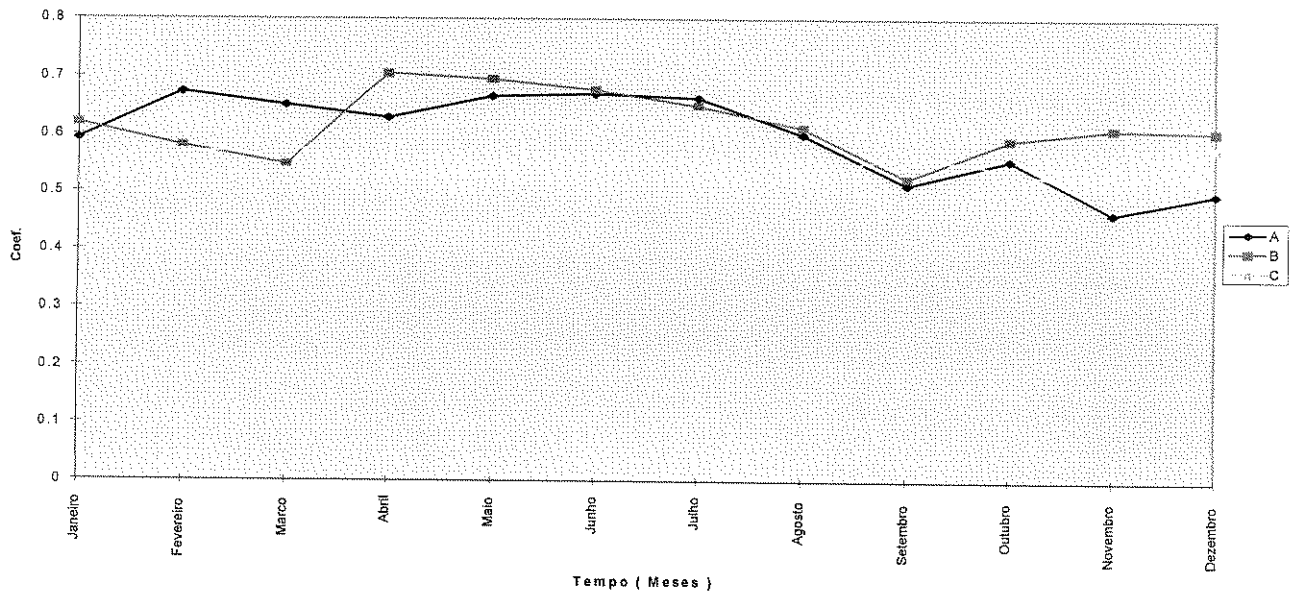


Fig.4.5. Coeficientes de transparência ao longo do período de estudo.

Apartir destes dados apresentados, calculam-se os coeficientes do modelo de Angstrom. Neste cálculo, observa-se uma grande discrepância nos meses de Maio, o que deve ter afectado os resultados de algum modo. Apesar de tal situação, calcula-se a radiação global a partir do modelo de Angstrom com base nos coeficientes  $a$  e  $b$ , com os valores em média estimados em 0.49 e 0.28 respectivamente, veja-se a tabela 4.1.

Tabela 4.1. Coeficiente  $a$  e  $b$  do Modelo de Angstrom, suas variâncias e seus desvios padrão

Mês/Coef.	$a$	$\sigma(a)$	$\sigma^2(a)$	$b$	$\sigma(b)$	$\sigma^2(b)$
Jan.	0.545	0.0003	0.017	0.255	0.0006	0.024
Fev.	0.528	0.0003	0.017	0.267	0.0006	0.024
Mar.	0.516	0.0002	0.016	0.261	0.0005	0.022
Abr.	0.507	0.0002	0.016	0.258	0.0004	0.020
Mai.	0.081	0.0012	0.035	0.591	0.0012	0.035
Jun.	0.501	0.0002	0.014	0.285	0.0028	0.017
Jul.	0.478	0.0001	0.013	0.268	0.0003	0.016
Ago.	0.539	0.0003	0.016	0.223	0.0004	0.020
Set.	0.534	0.0003	0.017	0.220	0.0005	0.023
Out.	0.553	0.0003	0.018	0.232	0.0008	0.029
Nov.	0.561	0.0004	0.019	0.234	0.0009	0.030
Dez.	0.550	0.0003	0.018	0.250	0.0008	0.028
Média	0.491	0.0004	0.018	0.279	0.0008	0.024

Este cálculo permitiu ilustrar o gráfico 4.6. que representa a radiação global obtida a partir do modelo de Angstrom, e, compará-lo ao gráfico da radiação solar global observada na estação actinométrica principal de Maputo, no mesmo período.

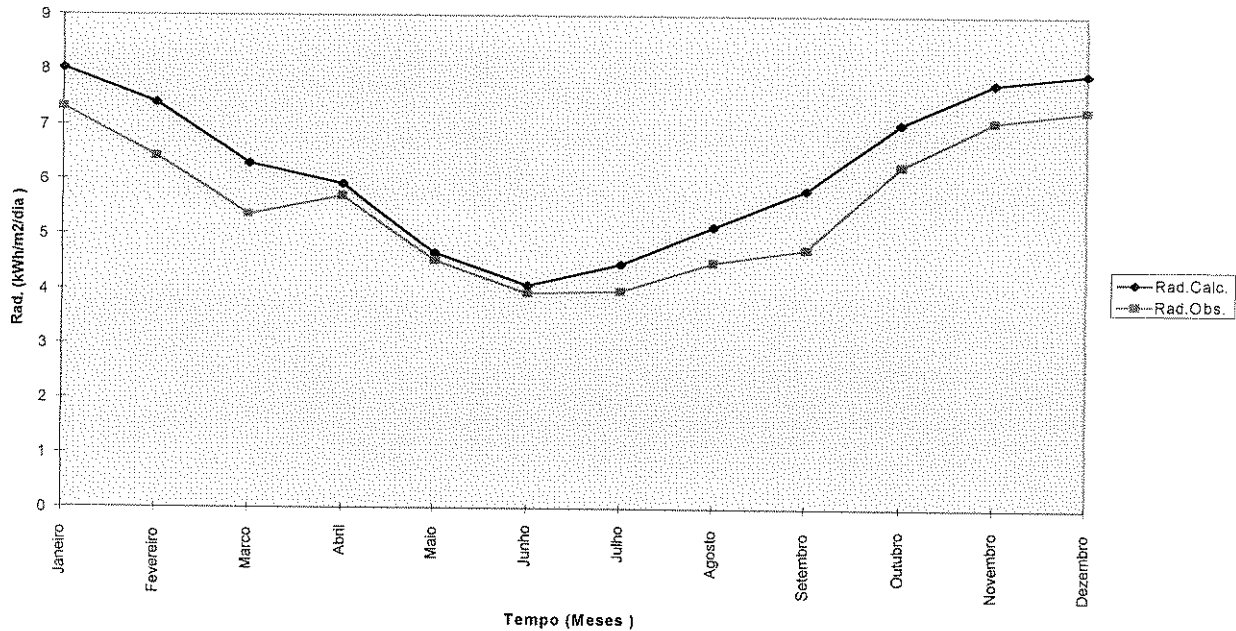


Fig.4.6. Curva da radiação solar global observada e curva da radiação solar global calculada a partir da insolação.

Tal comparação, mostrou que os valores da radiação solar global calculados a partir da insolação, usando o presente modelo de Angstrom, são aproximados aos observados na estação do INAM com um factor de correlação de 0.87 entre as curvas de radiação observada e calculada. Este factor de correlação é a razão entre os valores observados e os valores calculados, mostra que a curva dos valores calculados aproxima-se aos dos observados em média por volta de 87 %. Veja a tabela 4.2. abaixo:

**Tabela 4.2.***Factores de correlação entre as curvas*

Mês/Parâmetros	H.Observ	H.Calcul.	Fact.Correl
Jan.	7.068	7.895	0.895
Fev.	6.799	7.473	0.910
Mar.	5.978	6.635	0.901
Abr.	5.039	5.584	0.902
Mai.	4.287	4.596	0.933
Jun.	3.059	4.093	0.747
Jul.	3.914	4.326	0.905
Ago.	4.494	5.091	0.885
Set.	4.991	6.081	0.821
Out.	5.703	6.813	0.837
Nov.	5.937	7.381	0.804
Dez.	6.617	7.738	0.855
Total	63.886	73.707	10.393
Média	5.324	6.142	0.866

Em termos de valores observados, é de salientar que as médias mensais neste período em estudo, da radiação solar global apresentam o valor mínimo em Julho de 1996, que é cerca de 3.51 kWhm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup> e o valor máximo em Janeiro de 1993, cerca de 8.10 kWhm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>; a insolação tem o valor mínimo em Novembro de 1987 que foi de 4.8 hdia<sup>-1</sup> e o valor máximo de 10.1 hdia<sup>-1</sup> em Fevereiro e Janeiro de 1992 e 1993 respectivamente. Tendo em conta que a radiação global mínima em média mensal requerida para o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica para um bom desempenho é de cerca de 2.8 kWhm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>, vê-se que os índices de radiação solar global recebidos nesta região estão acima do valor requerido, levando a afirmar que não existe nenhum impasse para a sua aplicação. O total da variação da duração do dia solar ao longo do ano é cerca de 4379.32 h e o total de horas de noite ao longo do ano é cerca de 4380.68 h. Nota-se que temos parcialmente, mais horas de noite que de dia solar. A radiação global total ao longo destes anos em média é cerca de 1975.74 kWhm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup> por ano. Em termos de radiação extraterrestre recebida neste local por ano, temos cerca de 3339.58 kWhm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>. Estes resultados permitem avaliar em termos de médias anuais o valor percentual da radiação solar global recebida, que é de 59 % da radiação extraterrestre.



#### 4.2. CÁLCULO DE ERROS

Os instrumentos usados para medição da radiação solar têm uma precisão  $\Delta H_{\text{RAD.}} = \pm 0.02$  e para medição da insolação oferecem uma precisão  $\Delta I_{\text{HEL.}} = \pm 0.05$ , segundo os catálogos dos instrumentos. E  $\Delta a = \pm 0.0004$  e  $\Delta b = \pm 0.0006$  são os erros absolutos dos coeficientes  $a$  e  $b$  respectivamente, obtidos a partir dos cálculos já referidos em capítulos anteriores. Os restantes parâmetros existentes nas fórmulas que se seguem representam os valores médios das grandezas ao longo do período em análise.

De acordo com teoria do cálculo de erro propagação, os erros relativos nestes cálculos podem ser indicados assim:

##### 4.2.1. Cálculo de Erros da Radiação Directa.

$$E_r = \frac{\Delta H_t}{H_t} + \frac{\Delta H_d}{H_d} = 1.4\%$$

##### 4.2.2. Cálculo de Erros de Coeficiente de Transparência

$$E_r = \frac{\Delta H_t}{H_t} = 0.4\%$$

##### 4.2.3. Cálculo de Erros da Radiação Calculada Apartir da Insolação

$$E_r = \frac{\left[ \Delta \bar{a} + \left( \frac{\bar{I}}{N} \right) \Delta b + \left( \frac{\bar{b}}{N} \right) \Delta I \right]}{\left[ a + b \left( \frac{\bar{I}}{N} \right) \right]} = 0.3\%$$

## 5. CONCLUSÕES

O período de estudo do comportamento de radiação solar para fins de energia, é padronizado em termos de amostra em cerca de 10 anos. Neste trabalho utilizam-se dados registados pelo Instituto Nacional de Meteorologia desde 1 de Janeiro de 1987 à 31 de Dezembro de 1996.

Em termos de médias mensais ao longo deste período (1987-1996) observa-se o valor máximo em Janeiro, que foi de  $7.07 \text{ kWhm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  e o valor mínimo de  $3.06 \text{ kWhm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  em Junho. Em média o valor da radiação solar observado é de  $5.32 \text{ kWhm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ . Num estudo realizado em período semelhante

(1973-1982), U.M.Gómez [6] obteve uma média de  $4.93 \text{ kWhm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ , usando dados colectados pelo Instituto Nacional de Meteorologia. Este no seu trabalho observou o mínimo da radiação solar em Julho, cerca de  $3.03 \text{ kWhm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  e o valor máximo cerca de  $7.75 \text{ kWhm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  em Dezembro. Numa outra pesquisa feita num período de 1 de Janeiro à 30 de Junho de 1995, B.C. Cuamba [6] observou que o valor médio da radiação solar era de  $4.63 \text{ kWhm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ , tendo sido o máximo mensal de  $6.27 \text{ kWhm}^{-2}\text{dia}^{-1}$  e o mínimo mensal de  $3.35 \text{ kWhm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ .

Tomando os resultados obtidos nos outros trabalhos e comparando-os aos obtidos neste trabalho, pode-se observar que em média a radiação solar tende a crescer ao longo dos anos. Mormente, baseando-se nos resultados obtidos por U.M. Gómez e os obtidos neste trabalho, observa-se que o aumento percentual da radiação solar recebida neste local é cerca de 7 %, isto pode ficar a dever-se à factores meteorológicos, à degradação da camada de ozono e outros factores. Ainda em termos de médias, observa-se que radiação global mínima em média mensal obtida neste trabalho, está acima da média requerida para o desenvolvimento da tecnologia fotovoltaica para um bom desempenho, que é de  $2.8 \text{ kWhm}^{-2}\text{dia}^{-1}$ . Então não existe nenhum impasse para aplicação de sistemas fotovoltaicos..

Tendo em consideração o observado no comportamento das componentes da radiação solar concluí-se que os índices elevados da insolação ao longo do ano deve-se ao facto de maior parte da radiação solar recebida na superfície terrestre, ser a dos feixes directo ( radiação directa que é cerca de 65% da radiação solar global ). Isto mostra que a insolação está correlacionada com a radiação global. Como se pode observar, as curvas que mostram os valores calculados e os medidos da radiação solar, tem um factor de correlação de 0.87 em média. Isto traduz uma aproximação de 87 % da curva dos dados calculados à curva dos dados observados na estação actinométrica principal de Maputo no mesmo período. Daí se concluí que se pode estimar a radiação solar a partir da insolação, usando o modelo de Angstrom nesta região e noutras do país.

A partir dos dados dos coeficientes de transparência ao longo deste período em estudo, observa-se que há dias mais claros entre o equinócio do Outono e o equinócio da Primavera, isto acontece porque a maior parte dos dias de céu coberto nesta região, observam-se entre o equinócio da Primavera e o equinócio do Outono, i.e. no Verão local que é caracterizado pela época chuvosa. Por outro lado, observa-se que considerando dias óptimos (para dias de céu limpo) o coeficiente de transparência permanece quase constante (em termos de médias mensais). Isto permite concluir que, o comportamento da radiação solar recebida na superfície terrestre obedece ao comportamento da radiação solar extraterrestre. Ainda observa-se que devido ao alto nível de humidade que ao longo da

linha costeira se faz sentir , o valor do coeficiente de transparência é baixo relativamente as regiões mais para o interior.

## **6. RECOMENDAÇÕES**

- 1- Pela grande importância, que a radiação solar representa como recurso de energia em Moçambique, torna-se necessário realizar-se vários estudos similares ao realizado neste trabalho em diversas regiões, com vista a responder a implantação dos sistemas fotovoltaicos em zonas rurais e de difícil acesso à rede eléctrica convencional
- 2- O estudo realizado neste trabalho, poderá servir de uma ferramenta para posteriores pesquisas em estudos de pós graduação, que tornariam muito mais preciso o modelo de análise.

## 7.LITERATURA

- [1].Eugen Hecht “ **ÓPTICA**” Fundação Calouste Gulbenkian, (1991), (p.p. 51; 74-75; 564- 566).
- [2]. Hugh D. Young “ Fundamentals of Optics and Modern Physics”, Mc Graw- Hill, INC, (1968), (p.p. 30- 35)
- [3]. L. Landau e E. Lifshitz “ Teoria do campo”, volume 2, Impresso na URSS, (1980), (p.p. 96- 171)
- [4]. John M. Wallace and Peter V. Hobbs “ **ATMOSPHERIC SCIENCE** an introductory survey”, Academic Press,INC (1977), (p.p. 280- 308).
- [5]. John A. Duffie and William A. Beckman “ Solar Engineering of Thermal Processes”, John Wiley & sons, INC, (1991), (p.p. 3- 141).
- [6]. Boaventura Chongo Cuamba “ **Studies of the performance on a photovoltaic power plant in a southern Africa environment**” university of Northumbria at Newcastle. Doctoral Thesis (1996), (p.p. 24- 31)
- [7]. John Twidell, Tony Weir “ Renewable energy resources, E & F N SPON an imprint of Chapman & Hall (Reimpressão 1996), (p.p. 68- 87).
- [8]. Edward E. Anderson “ Fundamental of solar energy conversion- Reading, mass: Addison- Wesley Publishing Co, (1983), (p.p. 23- 79).
- [9]. Robert Hill, Phill O’Keefe and Colin Snape “The future of Energy Use”, Earthscan Publication Ltd, ( Reprinted 1996),(p.p. 126- 134).
- [10]. Alan L. Fahrenbruch, Richard H. Bube “ Fundamental of solar cell, Photovoltaic solar energy conversion,” academic press, INC (1983),(p.p. 26- 34).
- [11]. David K. Mc Daniels “**The Sun: Our future energy source**”, John Wiley & sons, INC, (1984), (p.p. 105- 212).
- [12]. Zekai Sen ( *Turkey* )“ Fuzzy algorithm for estimation of solar irradiation from sunshine duration” The official journal of the international solar energy society, Elsevier science Ltd, (1998), (p.p.39- 49).
- [13]. I.Supit ( *Italy* ) and R.R. Van Kappel ( *The Netherlands* ) ” The official journal of the international solar energy society, Elsevier science Ltd, (1998), (p.p.147- 160).
- [14]. R. A. Gansler,S.A. Klein and W.A. Beckman ( *USA* ) “ Investigation of minute solar radiation data” The official journal of the international solar energy society, Elsevier science Ltd, vol. 55, No 1,July (1995), (p.p. 21-27).
- [15]. Arthur T. DeGaetano, K. L. Eggleston and W. W. Knapp ( *USA* ) “ A comparison of daily solar radiation estimates for the Northeastern Unite States using the Northeast regional climate center and

national renewable energy laboratory models” The official journal of the international solar energy society, Elsevier science Ltd, vol. 55, No 3, September (1995), (p.p. 185-194).

[16]. Jagan M. R. Nandamodi & Elias Vasco “ Manual de Instrumentos Meteorologicos”, (INAM), 1991, (p.p. 5)

[17]. F. Lasnier and T. G. Ang “ Photovoltaic Engineering Handbook”, Printed in Great Britain by Galliard (Printers) Ltd, Great Yarmouth, 1990, (p.p. 537-541)

[18]. Rogério J. Utui “ Manual de Métodos de Física Experimental I”, Departamento de Física, UEM, (1992), (p.p 31- 35).

[19]. Irwin Guttman “ Linear Models: An Introduction”, John Wiley & sons, INC, (1982), (p.p. 3- 31).

[20]. John E. Freu and Gary A. Simon “ Statistic, a first course”, Prentice Hall, INC, (1991), (p.p. 439-466).

[21]. John R. Taylor “ An Introduction to Error Analysis *The study of uncertainties in Physical measurements*”, University Science Book, (1982), (p.p.3- 95).

## 8. ANEXO

### 8.1. ANEXO 1

Tabelas de declinação solar, radiação extraterrestre e variação da duração do dia solar

Tabela 1.1.  
Declinação do sol ( em Graus)

Dia/Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	-23.06	-17.55	-8.31	4.03	14.93	22.09	23.17	17.95	7.74	-4.22	-15.40	-22.1
2	-22.98	-17.28	-7.93	4.42	15.24	22.22	23.10	17.69	7.36	-4.62	-15.70	-22.2
3	-22.89	-17.01	-7.55	4.82	15.55	22.35	23.02	17.42	6.97	-5.02	-16.00	-22.4
4	-22.80	-16.72	-7.17	5.22	15.85	22.47	22.94	17.14	6.59	-5.41	-16.29	-22.5
5	-22.69	-16.44	-6.78	5.61	16.15	22.59	22.84	16.87	6.20	-5.81	-16.58	-22.6
6	-22.59	-16.15	-6.39	6.00	16.44	22.69	22.75	16.58	5.81	-6.20	-16.87	-22.7
7	-22.47	-15.85	-6.00	6.39	16.72	22.80	22.64	16.29	5.41	-6.59	-17.14	-22.8
8	-22.35	-15.55	-5.61	6.78	17.01	22.89	22.53	16.00	5.02	-6.97	-17.42	-22.9
9	-22.22	-15.24	-5.22	7.17	17.28	22.98	22.41	15.70	4.62	-7.36	-17.69	-23.0
10	-22.09	-14.93	-4.82	7.55	17.55	23.06	22.29	15.40	4.22	-7.74	-17.95	-23.1
11	-21.95	-14.62	-4.42	7.93	17.82	23.14	22.15	15.09	3.83	-8.12	-18.21	-23.1
12	-21.80	-14.30	-4.03	8.31	18.08	23.20	22.02	14.78	3.43	-8.50	-18.46	-23.2
13	-21.64	-13.98	-3.63	8.69	18.34	23.26	21.87	14.46	3.03	-8.88	-18.71	-23.2
14	-21.48	-13.65	-3.23	9.06	18.59	23.32	21.72	14.14	2.62	-9.25	-18.95	-23.3
15	-21.31	-13.32	-2.82	9.44	18.83	23.36	21.56	13.81	2.22	-9.62	-19.19	-23.3
16	-21.14	-12.98	-2.42	9.80	19.07	23.40	21.40	13.48	1.82	-9.99	-19.42	-23.4
17	-20.96	-12.64	-2.02	10.17	19.31	23.44	21.23	13.15	1.42	-10.35	-19.64	-23.4
18	-20.78	-12.30	-1.62	10.53	19.53	23.46	21.05	12.81	1.01	-10.71	-19.86	-23.4
19	-20.58	-11.95	-1.21	10.89	19.75	23.48	20.87	12.47	0.61	-11.07	-20.08	-23.4
20	-20.39	-11.60	-0.81	11.25	19.97	23.49	20.68	12.13	0.20	-11.43	-20.28	-23.5
21	-20.18	-11.25	-0.40	11.60	20.18	23.50	20.49	11.78	-0.20	-11.78	-20.49	-23.5
22	-19.97	-10.89	0.00	11.95	20.39	23.50	20.28	11.43	-0.61	-12.13	-20.68	-23.4
23	-19.75	-10.53	0.40	12.30	20.58	23.49	20.08	11.07	-1.01	-12.47	-20.87	-23.4
24	-19.53	-10.17	0.81	12.64	20.78	23.47	19.86	10.71	-1.42	-12.81	-21.05	-23.4
25	-19.30	-9.80	1.21	12.98	20.96	23.45	19.64	10.35	-1.82	-13.15	-21.23	-23.4
26	-19.07	-9.44	1.62	13.32	21.14	23.42	19.42	9.99	-2.22	-13.48	-21.40	-23.4
27	-18.83	-9.06	2.02	13.65	21.31	23.39	19.19	9.62	-2.62	-13.81	-21.56	-23.3
28	-18.59	-8.69	2.42	13.98	21.48	23.34	18.95	9.25	-3.03	-14.14	-21.72	-23.3
29	-18.34		2.82	14.30	21.64	23.29	18.71	8.88	-3.43	-14.46	-21.87	-23.2
30	-18.08		3.23	14.62	21.80	23.23	18.46	8.50	-3.83	-14.78	-22.02	-23.2
31	-17.82		3.63		21.95		18.21	8.12		-15.09		-23.1
Média	-20.89	-13.35	-2.39	9.50	18.85	23.13	21.15	13.32	2.00	-9.87	-19.00	-23.1

Tabela 1.2.  
Radiação solar extraterrestre ( em kWhm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>)

Dia/Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	12.02	11.54	10.57	8.93	7.18	5.97	5.80	6.63	8.22	9.90	11.23	11.9
2	12.02	11.51	10.53	8.87	7.13	5.95	5.81	6.68	8.28	9.95	11.26	11.9
3	12.01	11.49	10.48	8.81	7.08	5.93	5.82	6.72	8.34	9.99	11.29	11.9
4	12.00	11.46	10.43	8.75	7.03	5.91	5.83	6.76	8.39	10.05	11.32	11.9
5	12.00	11.43	10.39	8.69	6.98	5.89	5.85	6.81	8.45	10.10	11.35	11.9
6	11.99	11.40	10.34	8.63	6.93	5.87	5.86	6.85	8.51	10.15	11.38	11.9
7	11.98	11.37	10.29	8.58	6.89	5.86	5.88	6.90	8.57	10.20	11.41	11.9
8	11.97	11.34	10.24	8.52	6.84	5.84	5.90	6.95	8.62	10.25	11.44	11.9
9	11.96	11.31	10.19	8.46	6.80	5.83	5.92	6.99	8.68	10.30	11.47	11.9
10	11.95	11.28	10.14	8.40	6.75	5.81	5.94	7.04	8.74	10.35	11.49	12.0
11	11.94	11.24	10.09	8.34	6.71	5.80	5.96	7.09	8.80	10.39	11.52	12.0
12	11.92	11.21	10.04	8.28	6.66	5.79	5.98	7.14	8.85	10.44	11.55	12.0
13	11.91	11.17	9.99	8.23	6.62	5.78	6.00	7.19	8.91	10.48	11.57	12.0
14	11.90	11.14	9.93	8.17	6.58	5.77	6.03	7.24	8.97	10.53	11.60	12.0
15	11.88	11.10	9.88	8.11	6.54	5.77	6.05	7.29	9.02	10.57	11.62	12.0
16	11.87	11.07	9.83	8.05	6.50	5.76	6.08	7.34	9.08	10.62	11.64	12.0
17	11.85	11.03	9.77	7.99	6.46	5.76	6.11	7.39	9.14	10.66	11.66	12.0
18	11.84	10.99	9.72	7.94	6.42	5.75	6.14	7.45	9.19	10.70	11.69	12.0
19	11.82	10.95	9.67	7.88	6.39	5.75	6.17	7.50	9.25	10.74	11.71	12.0
20	11.80	10.91	9.61	7.82	6.35	5.75	6.20	7.55	9.31	10.79	11.73	12.0
21	11.78	10.87	9.56	7.77	6.31	5.75	6.23	7.61	9.36	10.83	11.75	12.0
22	11.77	10.83	9.50	7.71	6.28	5.75	6.26	7.66	9.42	10.87	11.77	12.0
23	11.75	10.79	9.44	7.66	6.25	5.75	6.29	7.72	9.47	10.90	11.78	12.0
24	11.73	10.75	9.39	7.60	6.22	5.75	6.33	7.77	9.53	10.94	11.80	12.0
25	11.71	10.71	9.33	7.55	6.18	5.76	6.36	7.83	9.58	10.98	11.82	12.0
26	11.68	10.66	9.27	7.49	6.15	5.76	6.40	7.88	9.64	11.02	11.84	12.0
27	11.66	10.62	9.22	7.44	6.12	5.77	6.44	7.94	9.69	11.05	11.85	12.0
28	11.64	10.57	9.16	7.39	6.10	5.78	6.47	7.99	9.74	11.09	11.87	12.0
29	11.62		9.10	7.33	6.07	5.79	6.51	8.05	9.80	11.13	11.88	12.0
30	11.59		9.04	7.28	6.04	5.80	6.55	8.11	9.85	11.16	11.89	12.0
31	11.57		8.98		5.99		6.59	8.16		11.19		12.0
Total	367.10	310.74	304.12	242.67	202.56	174.18	189.74	228.23	271.39	328.33	348.17	372.3
Média	11.84	11.10	9.81	8.09	6.53	5.81	6.12	7.36	9.05	10.59	11.61	12.0

Tabela 1.3.  
Dia Solar ( em Horas)

Dia/Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	13.46	13.10	12.52	11.79	11.12	10.63	10.54	10.88	11.51	12.22	12.91	13.37
2	13.45	13.08	12.50	11.77	11.10	10.62	10.54	10.89	11.53	12.24	12.93	13.38
3	13.45	13.06	12.48	11.74	11.08	10.61	10.55	10.91	11.56	12.27	12.95	13.39
4	13.44	13.04	12.46	11.72	11.06	10.60	10.55	10.93	11.58	12.29	12.97	13.40
5	13.43	13.02	12.43	11.70	11.04	10.59	10.56	10.95	11.60	12.31	12.99	13.41
6	13.43	13.01	12.41	11.67	11.02	10.59	10.56	10.96	11.62	12.34	13.01	13.42
7	13.42	12.99	12.39	11.65	11.00	10.58	10.57	10.98	11.65	12.36	13.02	13.43
8	13.41	12.97	12.36	11.63	10.99	10.57	10.58	11.00	11.67	12.38	13.04	13.43
9	13.40	12.95	12.34	11.60	10.97	10.56	10.58	11.02	11.70	12.41	13.06	13.44
10	13.39	12.93	12.32	11.58	10.95	10.56	10.59	11.04	11.72	12.43	13.08	13.45
11	13.38	12.91	12.29	11.56	10.93	10.55	10.60	11.06	11.74	12.45	13.10	13.45
12	13.37	12.89	12.27	11.53	10.91	10.55	10.61	11.08	11.76	12.48	13.11	13.46
13	13.37	12.87	12.25	11.51	10.90	10.54	10.62	11.10	11.79	12.50	13.13	13.46
14	13.35	12.85	12.22	11.49	10.88	10.54	10.63	11.12	11.81	12.52	13.15	13.47
15	13.34	12.83	12.20	11.46	10.86	10.53	10.64	11.14	11.84	12.54	13.16	13.47
16	13.33	12.81	12.17	11.44	10.85	10.53	10.65	11.16	11.86	12.57	13.18	13.47
17	13.32	12.79	12.15	11.42	10.83	10.53	10.66	11.18	11.88	12.59	13.19	13.48
18	13.31	12.77	12.13	11.40	10.81	10.52	10.67	11.20	11.91	12.61	13.21	13.48
19	13.29	12.75	12.10	11.38	10.80	10.52	10.69	11.22	11.93	12.63	13.22	13.48
20	13.28	12.72	12.08	11.35	10.78	10.52	10.70	11.24	11.96	12.66	13.24	13.48
21	13.27	12.70	12.05	11.33	10.77	10.52	10.71	11.26	11.98	12.68	13.25	13.48
22	13.25	12.68	12.03	11.31	10.75	10.52	10.72	11.29	12.00	12.70	13.27	13.48
23	13.24	12.66	12.01	11.29	10.74	10.52	10.74	11.31	12.03	12.72	13.28	13.48
24	13.23	12.64	11.98	11.27	10.73	10.52	10.75	11.33	12.05	12.74	13.29	13.48
25	13.21	12.61	11.96	11.25	10.71	10.52	10.77	11.35	12.07	12.76	13.31	13.48
26	13.20	12.59	11.93	11.22	10.70	10.52	10.78	11.37	12.10	12.79	13.32	13.48
27	13.18	12.57	11.91	11.20	10.69	10.52	10.80	11.40	12.12	12.81	13.33	13.48
28	13.16	12.55	11.89	11.18	10.68	10.53	10.81	11.42	12.15	12.83	13.34	13.47
29	13.15		11.86	11.16	10.66	10.53	10.83	11.44	12.17	12.85	13.35	13.47
30	13.13		11.84	11.14	10.65	10.53	10.84	11.46	12.20	12.87	13.36	13.47
31	13.11		11.82		10.64		10.86	11.49		12.89		13.46
Total	412.76	359.32	377.32	343.73	336.57	316.45	330.69	346.15	355.48	389.41	394.73	417.06
Média	13.32	12.83	12.17	11.46	10.86	10.55	10.67	11.17	11.85	12.56	13.16	13.45



## 8.2. ANEXO 2

Tabelas das médias diárias da radiação solar global, difusa e directa; da insolação e coeficientes de transparência ao longo dos 10 anos (1987-1996).

Tabela 2.1.  
Radiação global (em kWhm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>).

Dia/Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	7.69	6.61	6.62	5.73	4.62	3.95	3.67	4.47	4.41	6.00	5.65	6.95
2	7.31	7.33	6.59	5.15	5.11	3.78	3.53	4.23	4.37	5.45	5.61	7.17
3	7.04	7.73	5.98	5.65	4.87	3.66	4.00	3.86	4.51	5.42	5.38	6.51
4	6.96	7.66	5.94	5.07	4.62	3.68	3.57	3.88	4.77	5.32	6.65	6.17
5	8.09	7.47	6.03	5.31	4.67	3.97	3.98	3.93	3.54	5.92	6.35	5.93
6	8.40	7.69	6.53	5.39	4.79	3.78	3.17	4.34	4.76	6.05	4.81	5.96
7	7.71	6.65	6.69	5.79	4.49	3.88	3.57	4.58	5.77	6.21	6.58	6.75
8	6.44	6.15	6.61	5.58	4.46	3.83	3.91	2.28	5.26	6.12	7.26	5.56
9	5.79	6.43	6.23	5.53	4.46	4.17	4.04	4.10	5.38	4.97	6.14	6.74
10	6.22	6.39	6.26	5.02	4.02	4.10	3.85	4.70	5.58	4.93	6.35	6.05
11	5.93	7.29	6.25	5.03	4.60	3.96	4.12	4.39	5.43	4.94	6.56	7.02
12	8.27	7.22	5.38	5.35	4.24	3.89	4.00	4.49	5.33	5.10	6.50	5.41
13	8.12	7.39	5.66	5.63	4.37	3.70	4.21	4.23	4.93	5.21	5.75	6.56
14	7.50	6.25	5.88	5.41	4.07	3.79	4.07	4.26	4.79	4.95	6.71	7.84
15	6.86	6.93	5.92	5.46	3.67	3.82	4.19	4.94	5.18	5.33	6.41	5.64
16	7.32	5.62	6.14	4.70	4.44	3.68	3.56	5.08	5.20	5.77	5.26	6.42
17	6.98	6.57	5.91	4.81	4.18	4.11	3.78	4.95	4.80	6.86	5.02	7.15
18	7.94	6.48	6.34	5.28	4.48	3.52	4.01	4.74	5.27	5.82	5.09	7.17
19	7.27	6.31	6.96	4.53	4.36	3.54	4.06	4.58	5.30	6.25	6.11	6.62
20	6.57	7.23	6.48	5.23	4.42	3.77	4.23	4.13	5.42	5.97	6.18	7.95
21	6.98	6.55	5.58	5.01	4.38	3.69	4.05	4.76	6.03	6.15	6.38	6.14
22	6.83	6.37	5.87	4.75	3.39	3.80	4.23	4.98	4.46	5.32	6.28	6.43
23	6.46	6.22	5.68	4.86	3.64	3.98	4.02	4.90	4.47	5.89	6.74	6.60
24	6.16	5.98	5.44	4.65	4.29	7.04	3.97	4.92	5.40	5.66	5.37	6.54
25	4.70	6.72	5.27	4.65	4.16	4.01	4.08	4.58	5.06	6.28	5.43	6.57
26	6.95	6.98	5.68	4.68	4.26	3.64	4.46	4.93	5.15	5.61	6.55	6.02
27	7.37	6.82	5.83	4.83	3.66	3.37	4.10	4.62	5.31	5.86	6.05	7.07
28	7.14	7.24	5.20	4.46	3.46	3.70	3.96	4.66	5.54	6.60	6.44	6.91
29	6.75		5.57	3.49	4.42	3.79	4.21	4.06	5.64	4.84	2.66	7.44
30	7.35		5.48	4.11	4.33	3.65	3.73	4.26	5.37	5.61	7.44	7.10
31	8.00		5.45		4.08		4.39	4.48		6.67		6.70
Total	219.12	192.55	185.32	150.82	132.89	114.17	121.32	139.30	154.26	176.81	184.03	205.13
Média	7.07	6.80	5.98	5.04	4.29	3.06	3.91	4.49	4.99	5.70	5.94	6.62

Tabela 2.2.  
Radiação difusa (em kWhm<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>).

Dia/Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	2.61	2.30	2.24	1.61	1.40	1.90	1.07	1.25	2.20	2.44	2.91	2.6
2	2.48	2.41	2.03	1.80	1.03	1.92	1.28	1.29	1.99	2.52	2.77	2.0
3	2.77	2.20	2.19	1.81	1.19	0.96	1.04	1.13	2.05	2.37	3.34	2.5
4	2.93	2.10	2.01	2.14	1.46	1.03	1.20	1.29	1.87	2.70	3.24	2.3
5	1.99	2.48	2.39	1.93	1.40	1.03	0.91	1.57	1.92	2.70	3.32	2.5
6	1.89	2.25	2.32	1.83	1.24	1.17	1.15	1.30	2.19	2.69	2.50	2.4
7	2.37	2.47	1.85	1.37	1.61	1.21	1.09	1.29	1.95	2.17	2.34	2.9
8	2.76	2.96	2.14	1.53	1.39	1.08	1.15	1.19	2.21	2.07	2.94	2.8
9	2.91	2.92	2.47	1.41	1.27	0.93	1.04	1.28	2.16	2.20	3.06	2.7
10	3.02	2.64	1.96	1.84	1.49	0.88	1.00	1.40	2.20	2.72	3.05	2.4
11	2.88	2.29	1.85	1.80	1.21	1.05	1.34	1.52	1.88	2.77	2.81	3.4
12	2.37	2.37	1.93	1.47	1.40	1.01	1.10	1.40	2.00	2.66	3.22	2.6
13	2.25	2.42	2.17	1.44	1.34	1.05	1.15	1.45	2.40	2.55	3.29	2.5
14	2.61	1.99	2.34	1.45	1.27	1.12	1.10	1.22	2.32	2.42	3.01	2.7
15	2.58	2.25	2.34	1.37	1.73	1.07	1.00	1.28	2.24	2.84	2.19	2.4
16	2.24	2.39	1.83	1.82	1.27	1.12	1.16	1.30	2.00	2.77	2.45	2.6
17	2.44	2.54	2.00	1.64	1.44	1.04	1.07	1.33	1.60	2.68	3.15	2.8
18	1.87	2.03	2.09	1.48	1.14	1.12	1.09	1.42	1.85	2.06	3.37	2.6
19	2.53	2.07	1.89	1.59	1.10	1.02	1.08	1.46	2.25	2.93	3.48	2.2
20	2.49	2.21	2.07	1.52	1.09	0.99	1.03	1.13	2.19	2.78	3.16	2.6
21	2.68	2.66	1.71	1.40	1.07	1.06	1.23	1.55	2.25	3.34	2.96	2.2
22	2.47	2.34	2.08	1.48	1.33	1.14	1.20	1.43	2.42	3.04	3.14	3.1
23	2.90	2.23	2.00	1.34	1.25	1.00	1.25	1.66	2.18	2.89	2.80	3.0
24	4.26	2.46	1.89	1.51	1.10	0.92	1.44	1.45	2.72	2.85	2.21	2.8
25	2.55	2.18	1.97	1.45	1.21	0.95	1.21	1.48	2.48	2.18	2.46	3.0
26	2.59	2.21	2.11	1.45	1.48	1.15	1.04	1.57	2.52	2.69	3.01	2.8
27	2.29	2.43	1.89	1.17	1.08	1.30	1.17	1.31	2.54	2.37	3.42	2.6
28	2.14	1.66	1.84	1.42	1.35	1.11	1.47	1.70	2.65	3.07	3.58	2.8
29	2.17		1.85	1.52	0.88	0.96	1.18	1.91	2.22	3.26	3.25	3.1
30	2.30		2.03	1.58	0.91	1.08	1.38	1.73	1.90	3.16	2.90	2.3
31	2.37		2.02		1.07		1.20	1.51		2.99		2.8
Total	77.22	66.40	63.63	52.82	38.87	31.88	35.69	42.76	65.25	83.84	90.55	83.9
Média	2.49	2.41	2.05	1.57	1.25	1.06	1.15	1.42	2.17	2.71	3.01	2.7

Tabela 2.3.  
Radiação directa ( em kWhm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup>).

Dia/mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	5.08	4.31	4.38	4.12	3.21	2.06	2.60	3.21	2.21	3.56	2.74	4.2
2	4.83	4.92	4.56	3.35	4.08	1.86	2.26	2.93	2.38	2.92	2.83	5.1
3	4.27	5.53	3.79	3.84	3.68	2.70	2.96	2.72	2.46	3.05	2.04	3.9
4	4.02	5.57	3.93	2.93	3.16	2.65	2.37	2.59	2.90	2.62	3.41	3.8
5	6.10	4.99	3.64	3.38	3.27	2.94	3.06	2.36	1.61	3.22	3.04	3.3
6	6.51	5.43	4.21	3.56	3.54	2.61	2.02	3.03	2.57	3.36	2.31	3.4
7	5.33	4.18	4.83	4.42	2.88	2.67	2.48	3.29	3.82	4.04	4.23	3.8
8	3.68	3.18	4.47	4.04	3.08	2.75	2.76	1.09	3.05	4.05	4.31	2.7
9	2.89	3.51	3.77	4.11	3.19	3.24	3.00	2.82	3.22	2.77	3.08	3.9
10	3.20	3.75	4.31	3.18	2.54	3.22	2.85	3.30	3.38	2.21	3.30	3.5
11	3.04	5.00	4.40	3.24	3.39	2.91	2.78	2.87	3.55	2.17	3.75	3.6
12	5.90	4.85	3.45	3.88	2.84	2.87	2.90	3.09	3.34	2.45	3.28	2.7
13	5.87	4.97	3.49	4.19	3.03	2.66	3.06	2.78	2.53	2.66	2.46	4.0
14	4.89	4.26	3.53	3.96	2.80	2.67	2.97	3.03	2.47	2.53	3.70	5.1
15	4.28	4.68	3.58	4.09	1.94	2.75	3.18	3.66	2.94	2.49	4.22	3.2
16	5.07	3.23	4.31	2.88	3.16	2.56	2.40	3.77	3.20	3.00	2.81	3.8
17	4.54	4.03	3.90	3.17	2.74	3.07	2.71	3.62	3.19	4.18	1.88	4.3
18	6.08	4.45	4.25	3.80	3.34	2.40	2.92	3.31	3.42	3.76	1.72	4.5
19	4.75	4.24	5.07	2.94	3.26	2.52	2.98	3.12	3.05	3.33	2.64	4.3
20	4.08	5.02	4.42	3.71	3.33	2.78	3.20	3.00	3.23	3.19	3.02	5.3
21	4.30	3.88	3.87	3.61	3.31	2.63	2.82	3.21	3.78	2.81	3.42	3.8
22	4.36	4.03	3.79	3.27	2.06	2.66	3.03	3.56	2.04	2.28	3.14	3.2
23	3.56	3.98	3.68	3.52	2.39	2.98	2.77	3.23	2.29	3.00	3.94	3.5
24	1.90	3.52	3.55	3.14	3.19	6.12	2.53	3.47	2.68	2.81	3.16	3.6
25	2.15	4.54	3.30	3.20	2.95	3.06	2.88	3.10	2.58	4.11	2.97	3.5
26	4.37	4.77	3.57	3.23	2.77	2.48	3.42	3.35	2.62	2.93	3.54	3.1
27	5.08	4.39	3.94	3.65	2.58	2.07	2.93	3.31	2.78	3.49	2.63	4.4
28	5.00	5.58	3.37	3.04	2.11	2.59	2.49	2.96	2.89	3.53	2.87	4.0
29	4.58		3.73	1.97	3.55	2.83	3.02	2.15	3.42	1.57	-0.59	4.2
30	5.05		3.45	2.53	3.42	2.56	2.35	2.54	3.46	2.45	4.55	4.7
31	5.63		3.42		3.01		3.19	2.97		3.68		3.8
Total	141.90	126.15	121.70	98.01	94.02	82.29	85.63	96.54	89.01	92.97	93.48	121.2
Média	4.58	4.39	3.93	3.47	3.04	2.00	2.76	3.08	2.82	3.00	2.92	3.9

Tabela 2.4.  
Insolação ( em horasdia<sup>-1</sup>).

Dia/Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	9.37	8.07	8.42	9.35	7.98	9.08	7.62	9.13	6.79	8.21	6.08	8.3
2	8.84	9.15	8.52	7.65	9.79	7.76	7.75	8.54	7.12	6.99	6.49	8.3
3	8.25	10.2	7.35	8.41	9.15	8.14	9.02	7.32	7.06	6.88	5.27	7.2
4	7.78	9.82	7.89	7.25	8.58	8.03	7.87	7.19	7.3	6.27	8.17	6.5
5	10.71	8.92	7.24	8.13	8.81	8.61	8.81	7.11	8.41	7.6	7.08	5.3
6	10.96	9.82	8.3	7.97	7.8	7.69	5.77	7.99	7.48	7.64	4.66	6.5
7	10.31	8.4	9.41	9.21	8.23	7.64	7.52	8.56	9.53	8.24	7.94	7.0
8	7.08	6.76	9.06	8.88	8.42	7.97	8.65	8.18	8.23	7.42	9.25	4.9
9	5.7	6.82	8.43	9.06	8.58	9.53	9.1	7.12	8.47	6.4	7.02	7.5
10	6.4	7.35	8.5	7.66	7.26	9.34	9.03	8.9	8.6	5.81	7.74	
11	5.33	9.32	8.22	7.81	19.03	8.45	7.97	7.55	9.38	7.24	8.2	7.8
12	11.11	9.09	7	8.63	7.82	8.39	6.98	7.98	8.56	5.9	7.66	5.2
13	10.39	9.07	7.53	9.12	8.49	7.77	8.46	7.39	7.53	6.07	5.8	7.4
14	8.9	7.84	8.33	9.21	7.05	8.03	8.82	7.62	6.92	4.94	8.17	9.3
15	7.65	9.22	7.28	9.41	5.62	8.37	9.06	9.12	7.54	6.36	7.67	5.2
16	9.2	6.01	8.67	7.37	8.5	7.35	6.84	9.09	8.34	6.59	5.45	7.5
17	8.08	7.37	8.21	7.33	7.32	8.72	8.42	9.23	6.75	8.76	4.36	8.3
18	10.81	7.59	8.61	8.51	9.42	7.54	8.96	8.56	8.37	7.44	4.68	8.3
19	8.83	7.87	9.12	7.59	8.83	7.24	8.46	8.34	7.31	7.61	6.56	
20	7.36	9.72	9.2	9.21	9.38	8.38	9.12	7.2	7.54	7.43	6.6	10.2
21	8.35	7.69	8.15	8.75	9.14	7.83	7.88	8.71	9.06	7.77	6.66	7.2
22	7.8	7.64	8.31	8.13	6.24	8.22	9.1	8.74	5.61	6.22	6.86	7.0
23	7.06	7.52	7.57	8.72	7.09	8.86	8.14	8.57	6.29	6.7	8.07	7.2
24	7	7.04	7.38	8.61	8.79	9.34	7.51	8.41	7.8	6.52	5.73	7.6
25	4.23	8.42	7.34	8.17	8.44	9.04	8.42	7.86	7.02	8.08	5.74	7.4
26	8.51	9.21	7.82	8.15	8.99	7.92	9.75	8.5	7.26	6.17	7.71	6.3
27	9.6	8.9	8.51	8.73	7.46	6.83	8.89	7.9	6.92	6.47	6.96	8.6
28	8.17	10.37	6.87	7.98	6.02	7.59	7.88	7.83	7.72	8.14	6.44	7.9
29	8.27		7.7	4.88	9.32	8.41	8.59	6.6	8.17	4.26	7.64	9.1
30	8.99		8.49	6.06	9.5	7.52	7	6.88	7.88	5.58	8.7	8.4
31	9.94		7.94		8.86		9.22	6.76		8.07		6.8
Total	260.82	238.04	251.37	245.96	257.11	246.03	255.46	248.88	221.2	212.65	205.29	229.1
Média	8.4	8.4	8.1	8.2	8.28	8.1	8.26	8.04	7.71	6.87	6.85	7.3

Tabela 2.5.  
Coeficiente de Transparência

Dia/mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	0.64	0.57	0.63	0.69	0.64	0.66	0.63	0.67	0.53	0.61	0.50	0.58
2	0.61	0.64	0.63	0.64	0.72	0.64	0.61	0.63	0.53	0.55	0.50	0.60
3	0.59	0.67	0.57	0.63	0.69	0.62	0.69	0.57	0.54	0.54	0.48	0.55
4	0.58	0.67	0.57	0.64	0.66	0.62	0.61	0.57	0.56	0.53	0.59	0.52
5	0.67	0.65	0.58	0.61	0.67	0.67	0.68	0.58	0.59	0.59	0.56	0.50
6	0.70	0.67	0.63	0.64	0.69	0.64	0.54	0.63	0.58	0.60	0.42	0.50
7	0.64	0.59	0.65	0.68	0.65	0.66	0.61	0.66	0.67	0.61	0.58	0.56
8	0.54	0.54	0.65	0.64	0.65	0.66	0.66	0.63	0.61	0.56	0.63	0.46
9	0.48	0.57	0.61	0.64	0.66	0.72	0.68	0.59	0.62	0.48	0.54	0.56
10	0.52	0.57	0.62	0.62	0.60	0.71	0.65	0.67	0.64	0.48	0.55	0.50
11	0.50	0.65	0.62	0.57	0.69	0.68	0.64	0.62	0.62	0.48	0.57	0.59
12	0.69	0.64	0.54	0.66	0.64	0.67	0.58	0.63	0.60	0.49	0.56	0.45
13	0.68	0.66	0.57	0.70	0.66	0.64	0.65	0.59	0.55	0.50	0.50	0.55
14	0.63	0.56	0.59	0.60	0.62	0.70	0.67	0.59	0.53	0.47	0.58	0.65
15	0.58	0.62	0.60	0.66	0.56	0.66	0.69	0.68	0.57	0.50	0.55	0.47
16	0.62	0.51	0.62	0.56	0.68	0.64	0.58	0.69	0.57	0.54	0.45	0.53
17	0.59	0.60	0.60	0.58	0.65	0.71	0.62	0.67	0.52	0.64	0.43	0.59
18	0.67	0.59	0.65	0.64	0.70	0.61	0.65	0.64	0.57	0.54	0.44	0.60
19	0.62	0.58	0.68	0.60	0.68	0.62	0.66	0.61	0.57	0.58	0.52	0.55
20	0.56	0.66	0.67	0.65	0.70	0.66	0.68	0.55	0.58	0.55	0.53	0.66
21	0.59	0.60	0.58	0.48	0.69	0.64	0.65	0.63	0.64	0.57	0.54	0.51
22	0.58	0.59	0.62	0.60	0.54	0.66	0.68	0.65	0.47	0.49	0.53	0.53
23	0.55	0.58	0.60	0.63	0.58	0.69	0.64	0.63	0.47	0.54	0.57	0.55
24	0.53	0.56	0.58	0.57	0.69	0.46	0.63	0.63	0.57	0.52	0.46	0.54
25	0.40	0.63	0.56	0.62	0.67	0.70	0.64	0.58	0.53	0.57	0.46	0.55
26	0.60	0.65	0.61	0.57	0.69	0.63	0.70	0.62	0.53	0.51	0.55	0.50
27	0.63	0.64	0.63	0.65	0.60	0.58	0.64	0.58	0.55	0.53	0.51	0.59
28	0.61	0.69	0.57	0.63	0.57	0.64	0.61	0.58	0.57	0.60	0.54	0.57
29	0.58		0.61	0.64	0.73	0.66	0.65	0.50	0.58	0.43	0.55	0.62
30	0.63		0.61	0.64	0.72	0.63	0.57	0.53	0.55	0.50	0.63	0.59
31	0.69		0.61		0.68		0.67	0.55		0.60		0.56
Total	18.50	17.14	18.87	18.71	20.35	20.20	19.86	18.97	17.05	16.70	15.82	17.08
Média	0.60	0.61	0.61	0.62	0.66	0.67	0.64	0.61	0.57	0.54	0.53	0.55

Tabela 2.6.  
Valores óptimos do coeficiente de transparência em médias mensais ao longo dos 10 anos.

Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Média	0.65	0.65	0.63	0.65	0.67	0.65	0.65	0.65	0.63	0.62	0.63	0.66

### 8.3.ANEXO 3

Tabelas de radiação solar global de 1987, insolação de 1988 e coeficiente de transparência de 1988.

Tabela 3.1.  
Radiação global ( em kWhm<sup>-2</sup>dia<sup>-1</sup> ).

Dia/Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	9.43	8.55	6.92	6.50	4.99	4.29	4.51	4.51	5.55	7.19	4.66	3.26
2	7.58	8.72	8.21	6.29	4.76	4.20	4.31	4.83	4.98	1.90	5.40	6.95
3	4.41	7.02	8.11	6.02	5.72	3.70	4.23	4.75	5.09	3.11	8.12	8.71
4	7.97	8.43	5.68	5.29	3.57	4.31	4.45	4.90	4.88	6.47	5.66	6.48
5	8.87	6.29	5.18	5.70	5.33	4.36	4.41	3.69	1.69	8.14	8.00	6.64
6	8.39	7.20	7.01	5.92	6.21	4.61	4.27	4.22	3.22	7.91	3.56	5.21
7	9.14	6.86	4.43	5.84	3.97	4.55	4.47	3.28	4.16	7.85	3.42	7.84
8	4.75	7.50	6.21	4.78	4.87	3.66	3.58	5.08	4.34	7.63	5.12	2.24
9	7.69	8.23	6.63	4.88	4.52	4.28	3.77	4.65	3.31	7.56	5.28	7.40
10	6.84	8.30	6.37	6.18	5.02	4.28	4.13	5.38	4.81	1.41	1.40	8.66
11	5.28	4.09	7.16	2.54	4.93	4.04	3.22	5.16	6.22	7.57	2.56	6.48
12	8.98	6.37	6.50	3.22	4.92	2.51	4.15	5.11	6.51	4.66	4.29	1.94
13	6.79	8.55	7.42	6.27	4.86	3.19	4.16	1.59	6.52	2.05	3.74	2.93
14	6.48	7.02	7.45	5.99	4.09	4.07	4.08	1.07	6.58	4.94	8.09	7.54
15	3.35	8.08	7.52	5.37	3.79	4.24	4.44	4.27	6.29	6.43	8.36	4.81
16	2.86	7.04	7.44	4.05	5.11	4.21	4.47	4.18	1.13	7.25	7.61	7.01
17	9.36	8.29	4.76	4.66	5.07	4.34	3.92	5.55	0.77	8.27	2.83	6.18
18	8.83	8.32	6.88	6.34	4.66	1.95	3.94	5.61	6.93	7.75	5.06	5.06
19	8.41	8.01	6.79	3.88	3.59	4.28	4.26	4.95	6.62	7.36	4.45	7.39
20	7.50	7.83	6.50	5.36	3.42	3.94	4.15	5.51	6.48	6.48	2.86	8.09
21	1.70	3.69	6.16	5.78	4.62	3.20	1.76	5.39	5.64	4.65	4.24	2.40
22	4.56	8.14	4.09	4.83	2.42	3.50	3.52	5.45	5.12	3.44	4.88	4.85
23	7.84	7.09	5.72	5.70	3.55	4.64	2.66	5.34	3.74	7.00	7.27	4.87
24	5.99	7.41	6.41	1.81	3.71	4.41	3.36	1.23	6.11	8.05	7.80	6.33
25	4.12	8.43	7.45	4.33	4.13	4.19	4.66	1.14	2.21	6.83	6.34	7.86
26	8.14	8.05	6.12	5.05	4.55	1.78	4.45	2.49	1.16	4.18	8.08	6.57
27	8.46	7.82	4.41	4.76	2.63	3.38	4.37	5.66	0.98	5.63	3.09	6.79
28	8.39	7.92	5.78	5.13	4.61	4.01	4.62	5.87	3.79	6.70	4.48	1.44
29	7.08		6.51	4.92	4.75	4.29	4.38	4.85	7.07	4.68	7.78	5.01
30	9.16		6.84	5.25	4.48	4.34	4.81	5.68	7.30	2.94	6.95	8.89
31	8.72		5.42		3.27		4.27	5.76		6.70		8.36
Total	217.63	209.27	198.11	152.63	134.94	116.75	125.81	137.14	139.22	182.70	161.40	185.34
Média	7.02	7.47	6.39	5.09	4.35	3.89	4.06	4.42	4.64	5.89	5.21	5.98

Tabela 3.2.  
Insolação ( em horas).

Dia/Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	6.9	7.6	8.5	11	10.5	9.9	9.9	9.4	0	9.4	9.6	5.4
2	9.2	10.9	6.4	9.1	9.3	9.8	7.6	10	0	3.8	10.4	10
3	8.5	12.6	0.2	6.4	8.2	9.8	9.6	9.4	0.2	0	4.3	4.9
4	8.1	12.5	1.5	7.2	5.2	7.5	7.1	9.6	7.7	8.3	2.2	5.6
5	11.4	12.5	8.5	9.3	2.7	8.5	9.7	10.1	8.8	9.6	5.7	5.3
6	10.2	12.1	7.6	3.9	9.2	9.7	9.8	7.5	10.6	10.8	3.8	1.6
7	5.9	12	4.4	9.3	9.9	9.7	9.9	9.9	10.7	10.8	12.5	6.8
8	6.9	12.2	6.3	4.8	10.2	6	9.2	9.9	9.7	9.6	11.4	0.1
9	5.7	3.8	9.6	0.8	10	9.9	9.7	2.8	10.6	11.1	4.9	12.9
10	0	0.8	0.1	9.2	9.3	9.9	5.8	4.3	10.8	6.2	0.5	10.5
11	5.6	9.6	1.7	5.6	110.2	9.1	4.4	10.1	8.6	0	12.3	10.5
12	7.8	12.2	0.4	10.3	10.2	9.9	9.9	10.8	0.1	0.2	12.7	2.6
13	7.9	11.6	7.5	10.3	10.1	9.7	9.9	10.7	0	0	10.8	0.8
14	12.1	12.1	10	8.6	9.8	8.6	8.7	8.7	6	0.7	12.5	3.8
15	10.1	10.7	1.8	9.8	9.6	6.2	9.9	10.5	4.1	5	5.5	6
16	10.3	10.6	9.4	1.4	9.6	4.2	9.9	10.5	5.2	10.9	0	1.3
17	7.4	7.1	5	0.5	9.3	9.7	10	10.4	10.2	9	0.1	4
18	12.9	11.8	10.2	4	7.7	9.8	9.7	0.8	11	0	5.4	8.5
19	10.5	12	9.1	9.2	9.1	9.8	9.4	4.7	10.8	0	11.8	8.1
20	10.5	11.2	10.2	8.7	8.9	9.6	9.5	10.1	10.8	0	10.5	10.8
21	6.5	10.1	11	5.6	8.9	9.3	9.6	10.5	10.9	1.8	11.3	9
22	0	8.6	10.8	10.3	9.3	4.8	9.5	10.5	10.8	4.6	12.5	6.7
23	2	10.1	11	4.2	9.8	9.6	9.5	8.4	4.2	2.6	7.5	12.7
24	8.7	7.7	10.3	9.6	9.5	9.8	7.4	7.4	5.8	11.5	10.5	9.8
25	0	0.3	11.2	6.3	9.5	9.2	9.6	8.6	10.8	11.8	11.6	2.6
26	12.4	7.7	11.2	9.9	9.7	9.2	9.3	8.9	10.7	0	7.6	1.1
27	12.7	10.1	10.7	10.3	9.9	9.5	8.2	10.3	3	0	11.2	0
28	12.5	11.8	8.2	9.8	9.2	6	9.7	9.3	10.1	5.1	8.5	9.3
29	11	8.9	11.1	9.2	9.2	0.5	10.3	7.7	10.1	4.7	0	10.9
30	11.1		6.3	9.6	9.9	0.2	9.7	9.1	10.1	0	2.1	2
31	10.6		9.1		10		8.9	8.1		8		6.3
Total	255.4	281.2	229.3	224.2	283.9	245.4	281.3	269	222.4	155.5	229.7	184.9
Média	8.2	9.7	7.4	7.5	9.2	8.2	9.1	8.7	7.4	5	7.7	6

Tabela 3.3.  
Coeficiente de transparência.

Dia/Mês	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
1	0.51	0.54	0.62	0.72	0.77	0.71	0.72	0.70	0.12	0.67	0.64	0.47
2	0.65	0.76	0.62	0.67	0.73	0.71	0.64	0.73	0.09	0.44	0.71	0.72
3	0.69	0.78	0.17	0.61	0.68	0.70	0.72	0.66	0.25	0.18	0.42	0.48
4	0.62	0.78	0.36	0.63	0.56	0.64	0.60	0.73	0.55	0.62	0.42	0.44
5	0.63	0.76	0.65	0.60	0.39	0.67	0.70	0.70	0.71	0.65	0.40	0.48
6	0.69	0.78	0.57	0.45	0.72	0.70	0.71	0.63	0.74	0.74	0.50	0.30
7	0.46	0.78	0.47	0.63	0.67	0.72	0.73	0.67	0.72	0.75	0.72	0.63
8	0.57	0.78	0.56	0.43	0.77	0.54	0.70	0.70	0.71	0.71	0.73	0.25
9	0.47	0.57	0.62	0.33	0.69	0.74	0.76	0.33	0.74	0.73	0.44	0.71
10	0.23	0.35	0.25	0.66	0.70	0.75	0.51	0.47	0.77	0.50	0.27	0.64
11	0.48	0.71	0.34	0.53	0.76	0.70	0.48	0.77	0.68	0.10	0.76	0.69
12	0.65	0.74	0.31	0.72	0.81	0.74	0.76	0.76	0.27	0.20	0.77	0.33
13	0.65	0.76	0.54	0.74	0.77	0.72	0.77	0.76	0.20	0.15	0.72	0.33
14	0.74	0.77	0.69	0.63	0.77	0.66	0.72	0.70	0.49	0.45	0.76	0.47
15	0.73	0.69	0.38	0.65	0.73	0.56	0.75	0.73	0.39	0.42	0.43	0.55
16	0.70	0.76	0.61	0.28	0.72	0.52	0.79	0.71	0.43	0.73	0.28	0.28
17	0.57	0.65	0.41	0.27	0.70	0.72	0.77	0.68	0.73	0.64	0.24	0.41
18	0.78	0.78	0.74	0.52	0.66	0.72	0.73	0.27	0.76	0.09	0.49	0.61
19	0.73	0.73	0.67	0.66	0.73	0.74	0.70	0.55	0.76	0.14	0.72	0.67
20	0.73	0.68	0.64	0.73	0.64	0.67	0.74	0.69	0.75	0.20	0.64	0.70
21	0.62	0.76	0.66	0.50	0.67	0.68	0.80	0.72	0.75	0.28	0.72	0.62
22	0.14	0.67	0.66	0.74	0.69	0.50	0.75	0.72	0.75	0.44	0.75	0.49
23	0.32	0.75	0.70	0.42	0.67	0.75	0.69	0.63	0.48	0.30	0.56	0.73
24	0.63	0.61	0.68	0.62	0.68	0.75	0.63	0.55	0.53	0.69	0.73	0.54
25	0.17	0.26	0.73	0.63	0.65	0.72	0.63	0.58	0.73	0.68	0.74	0.34
26	0.76	0.68	0.71	0.72	0.69	0.73	0.64	0.69	0.69	0.27	0.64	0.32
27	0.80	0.76	0.76	0.71	0.69	0.71	0.55	0.66	0.50	0.25	0.70	0.22
28	0.78	0.78	0.70	0.71	0.73	0.62	0.77	0.65	0.67	0.47	0.62	0.61
29	0.65		0.72	0.74	0.76	0.21	0.77	0.52	0.66	0.52	0.22	0.69
30	0.74		0.56	0.76	0.76	0.28	0.73	0.59	0.64	0.22	0.45	0.32
31	0.72		0.67		0.78		0.69	0.58		0.65		0.50
Total	18.60	19.41	17.79	18.01	21.76	19.57	21.63	19.84	17.25	13.89	17.20	15.54
Média	0.6	0.69	0.57	0.6	0.7	0.65	0.7	0.64	0.58	0.45	0.57	0.5



#### 8.4. ANEXO 4

Algumas ilustrações gráficas.

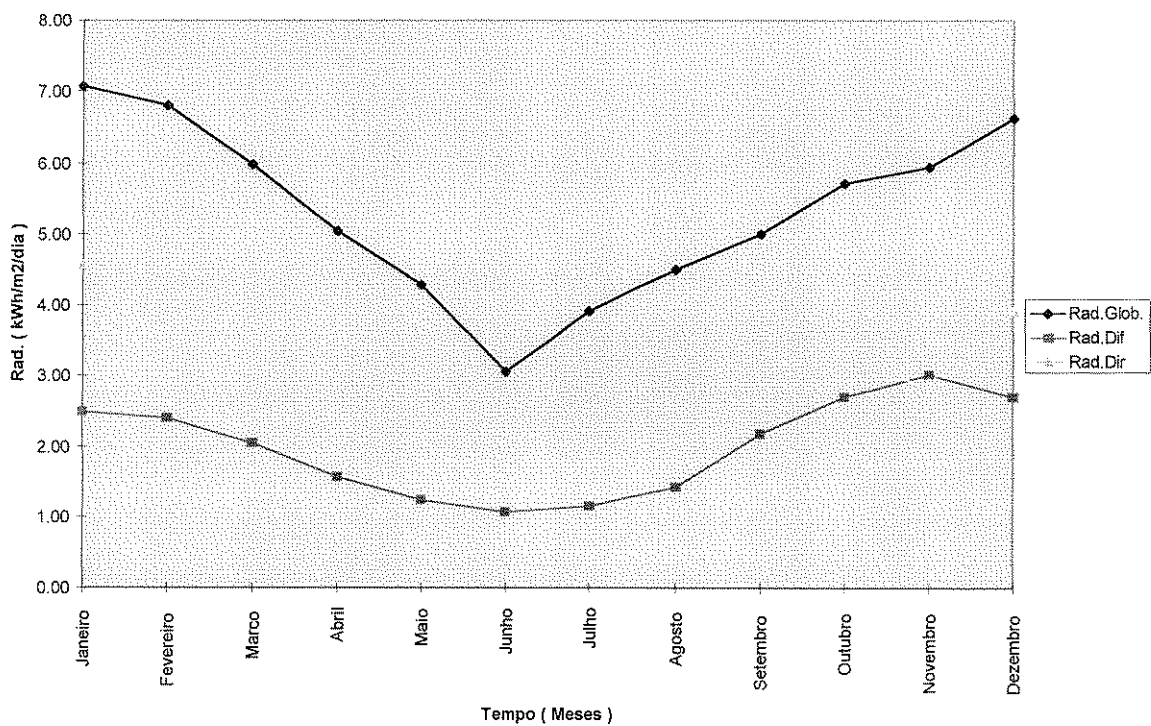


Gráfico 4.1. Curvas das médias mensais da radiação solar global, difusa e directa ao longo dos 10 anos (1987-1996).

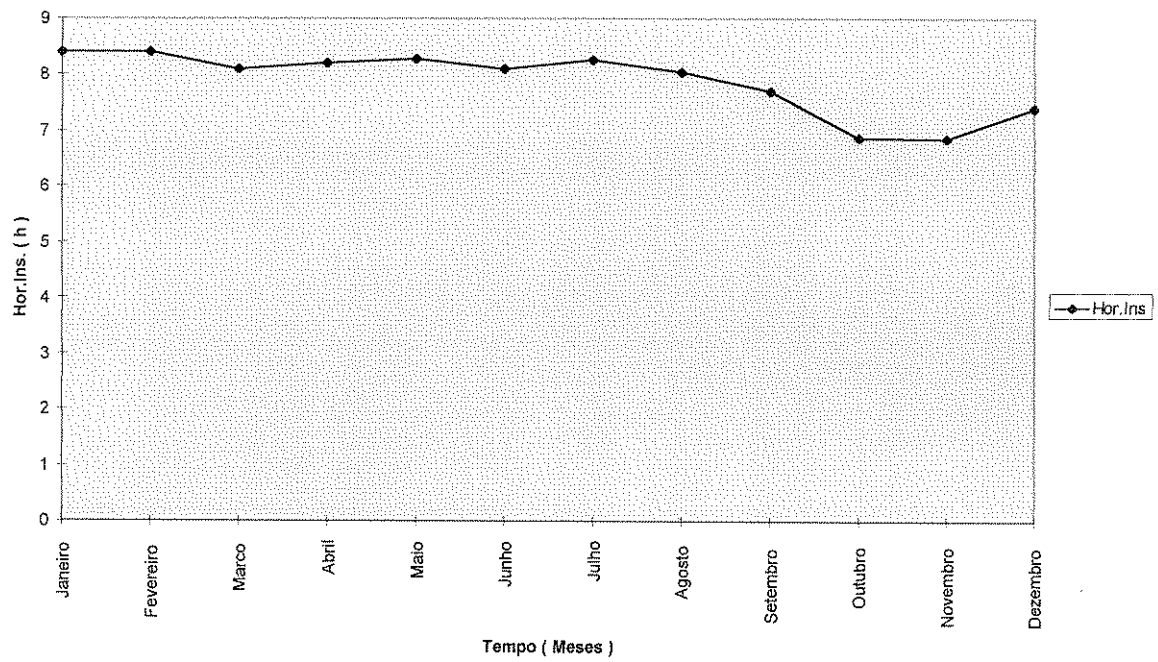


Gráfico 4.2. Curva das médias mensais da insolação ao longo dos 10 anos (1987-1996).

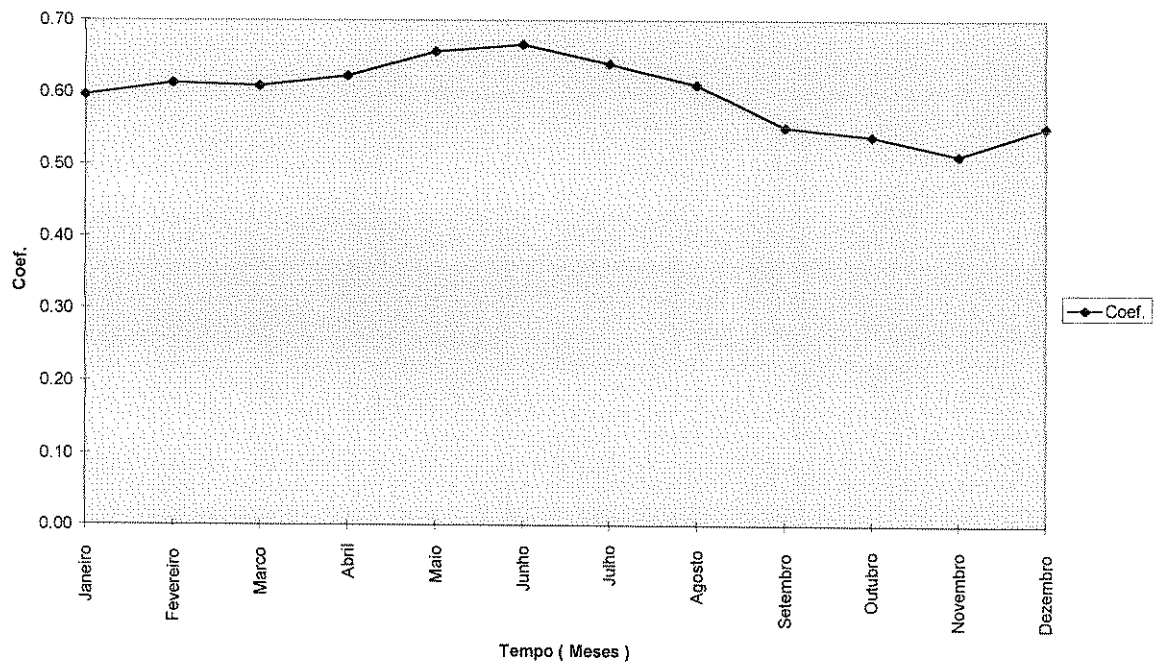


Gráfico 4.3. Curvas das médias mensais do coeficiente de transparência ao longo dos 10 anos (1987-1996)

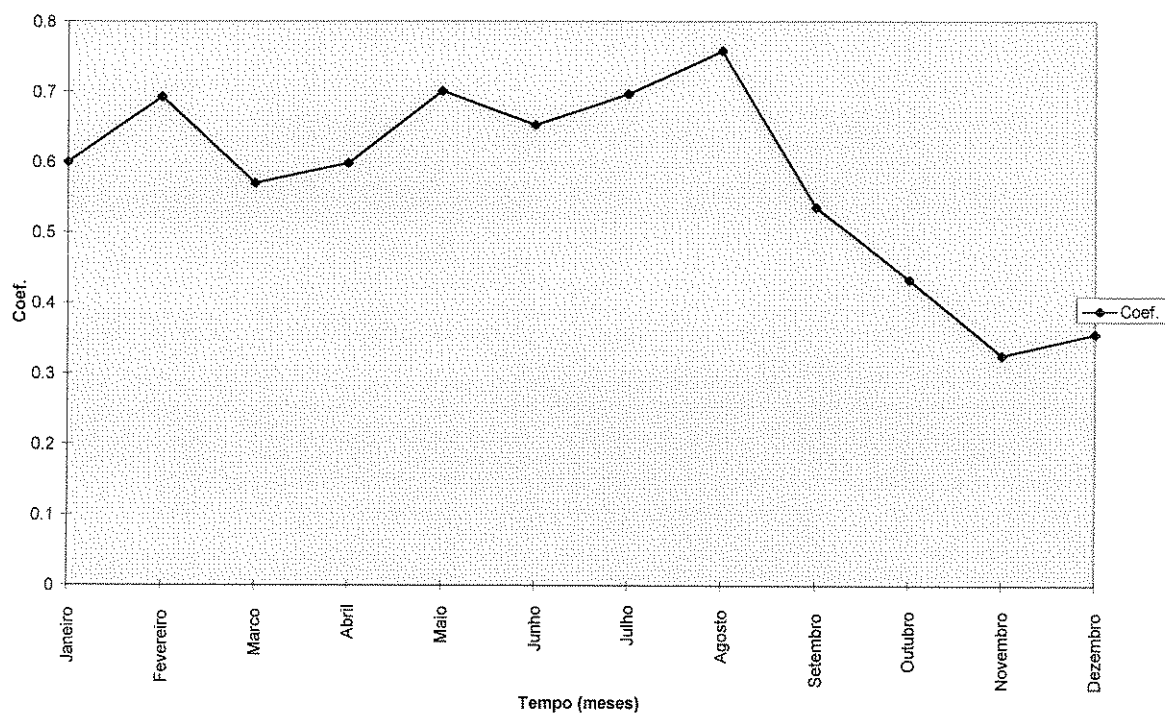


Gráfico 4.6. Curva das médias mensais do coeficiente de transparência em 1988.

8.5. ANEXO 5

Ilustração dos instrumentos de medição da radiação solar e da insolação.

PIRANÓMETRO

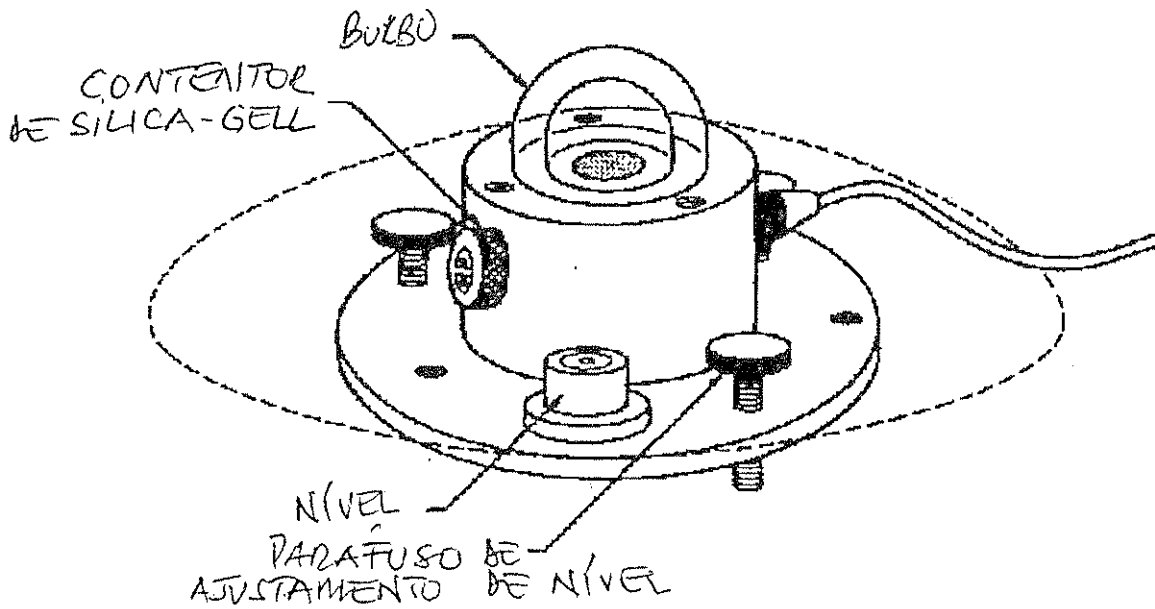


Fig.5.1. Piranómetro.

## PIRHÉLIÓMETRO

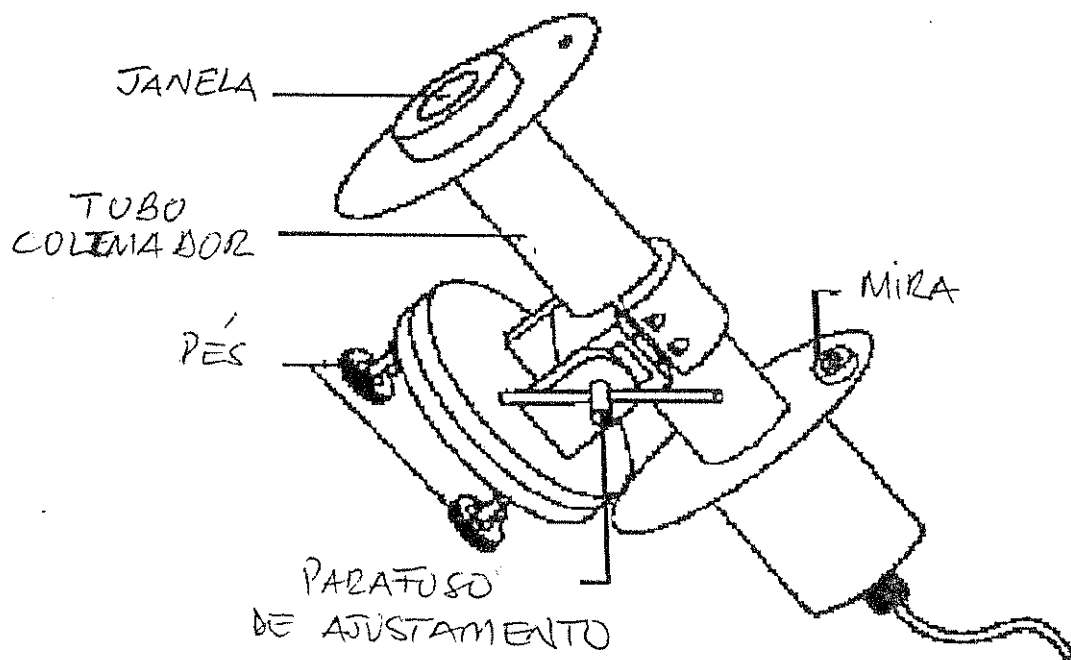


Fig.5.2. Pírheliómetro.

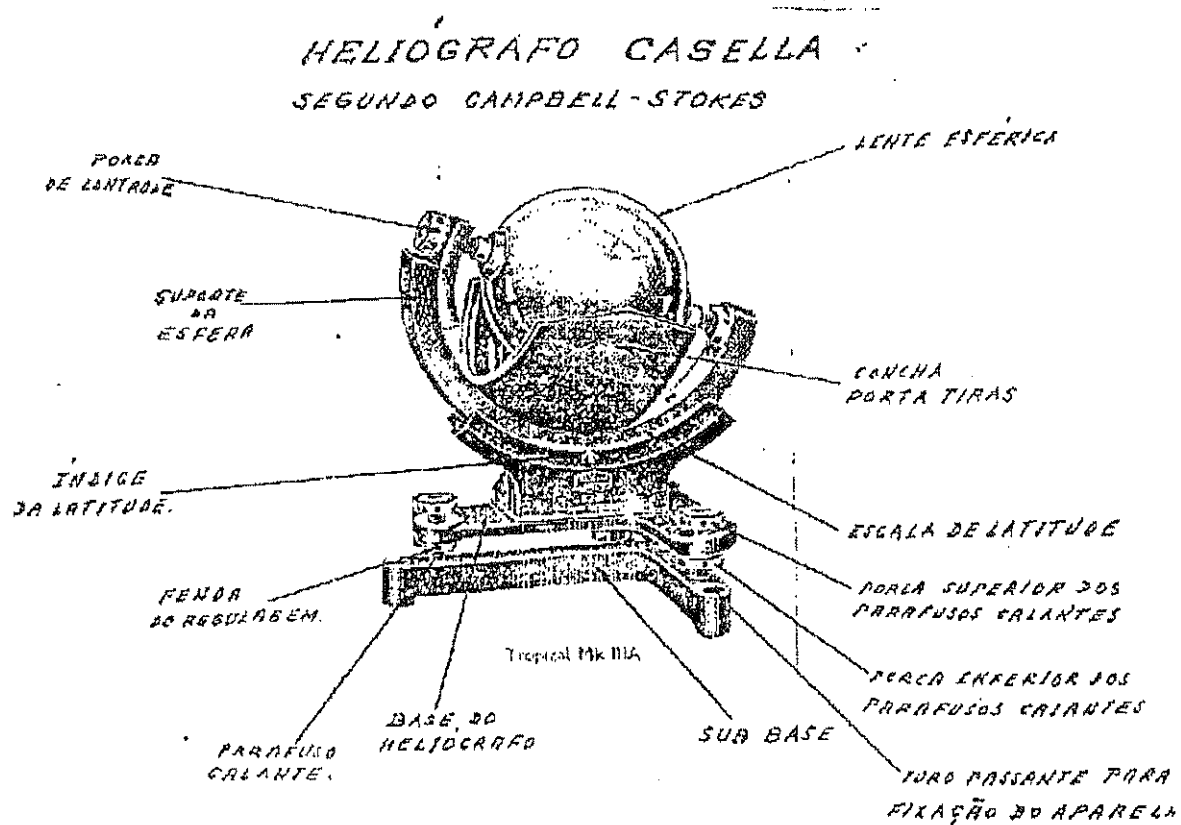


Fig.5.3. Heliógrafo.